

Technologie výroby surového železa

(Studijní opora)

Ján Kret

Ostrava, 2020

Název: Technologie výroby surového železa

Autor: Ján Kret

Vydání: druhé, 2020

Počet stran: 140

Studijní materiály pro studijní program Metalurgické inženýrství (specializace Moderní technologie výroby kovů) navazujícího magisterského studia Fakulty materiálově-technologické.

Jazyková korektura: nebyla provedena.

© Jméno autora: Ján Kret

© VŠB – Technická univerzita Ostrava

POKYNY KE STUDIU

Cíle předmětu a výstupy z učení

Cílem předmětu je objasnit studentům technologické principy výroby aglomerátu a surového železa, seznámit studenty s konstrukčními a technologickými uzly vysokopecního závodu a předat studentům schopnost pochopit a správně aplikovat zákonitosti popisující teoretickou podstatu metalurgických dějů.

Po prostudování předmětu by měl student být schopen:

výstupy znalostí:

- *student bude umět aplikovat teoretické poznatky na reální provozní situace;*
- *student získá komplexní pohled na proces výroby surového železa.*

výstupy dovedností:

- *student bude umět řešit úlohy směřující k optimalizaci průběhu výroby surového železa.*
- *student bude schopen reagovat na konkrétní odchylky chodu vysoké pece a analyzovat jejich příčiny;*

Pro koho je předmět určen

Předmět je zařazen do navazujícího magisterského studia studijního programu Metalurgické inženýrství (specializace Moderní technologie výroby kovů).

Studijní opora se dělí na části, kapitoly, které odpovídají logickému dělení studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsaná struktura.

Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup

Při studiu každé kapitoly je student veden pokyny, které jsou uvedeny na začátku a konci kapitoly. Na začátku si je potřeba uvědomit hlavní cíle a strukturu dané problematiky. Po prostudování výkladu je potřeba ověřit si předpokládané znalosti a dovednosti, případně vyřešit zadaný úkol.

Způsob komunikace s vyučujícími

V rámci tohoto předmětu bude zadán pro vypracování semestrální projekt na určené téma:

- z oblasti výroby aglomerátu, pelet, koksu a z oblasti výroby surového železa.

Projekt bude kontrolován vyučujícím do 14 dnů po odevzdání a výsledky budou studentům zaslány e-mailem prostřednictvím IS. Studenti absolvují zápočtový test a výsledky budou studentům sděleny po jeho absolvování.

OBSAH

1	SUROVINY PRO VÝROBU AGLOMERÁTU A PELET A JEJICH ÚPRAVA.....	6
1.1	Suroviny pro výrobu aglomerátu.....	6
1.2	Požadavky na jednotlivé složky aglomerační vsázky.....	7
1.3	Řízení výrobnosti aglomeračního zařízení a řízení jakosti aglomerátu.....	10
2	SUROVINY PRO VYSOKOPECNÍ VÝROBU SUROVÉHO ŽELEZA	16
2.1	Suroviny pro výrobu surového železa	17
2.2	Požadavky na jakost jednotlivých vysokopecních surovin;	18
3	ZAVÁŽENÍ VYSOKÉ PECE	29
3.1	Typy sazeben	30
4	DMÝCHÁNÍ VĚTRU A NÁHRADNÍCH PALIV DO VYSOKÉ PECE.....	35
4.1	Ohřivače větru s vnitřní spalovací šachticí.....	37
4.2	Ohřivače větru s vnější spalovací šachticí.....	39
4.3	Ohřivače větru bez spalovací šachtice.....	40
4.4	Injektování náhradních paliv do nístěje.....	43
5	ŘÍZENÍ PROTIPROUDU A VÝROBNOSTI VYSOKÉ PECE	54
5.1	Řízení protiproudu vysoké pece	56
5.2	Řízení výrobnosti vysoké pece	58
6	VYPOUŠTĚNÍ TEKUTÝCH PRODUKTŮ TAVBY A JEJICH ÚPRAVA	61
6.1	Zpracování vysokopecní strusky	65
6.2	Mimopecní odsiřování surového železa	66
7	ČIŠTĚNÍ VYSOKOPECNÍHO PLYNU.....	68
7.1	Hrubé čištění plynu.....	70
7.2	Polojemné čištění VP plynu	71
7.3	Jemné čištění plynu	72
8	TECHNOLOGICKÉ PORUCHY CHODU PECE	77
8.1	Studený chod vysoké pece.....	78
8.2	Horký chod vysoké pece.....	78

8.3	Zavápnění vysoké pece.....	79
8.4	Zarůstání nístěje.....	79
8.5	Poškození vyzdívky nístěje	79
8.6	Nasazeniny ve vysoké peci.....	80
9	KONSTRUKCE VYSOKÉ PECE	83
9.1	Základ vysoké pece	84
10	VYZDÍVKA VYSOKÉ PECE.....	90
10.1	Vyzdívání dna a nístěje	95
11	CHLAZENÍ VYSOKÉ PECE.....	100
11.1	Chladicí systém horizontální (chlazení chladícími klíny)	101
11.2	Vertikální systém chlazení (chlazení chladícími deskami).....	102
11.3	Kombinovaný systém chlazení	103
11.4	Chlazení dna vysoké pece	104
11.5	Odparné chlazení	106
12	DRUHY SUROVÝCH ŽELEZ	108
12.1	Surové železo	108
13	EKOLOGICKÉ ASPEKTY VÝROBY SUROVÉHO ŽELEZA	115
13.1	Škodlivé látky při výrobě surového železa	115
13.2	Recyklace odpadů v hutním závodě	120
13.3	Recyklace na aglomeračním provozu	125
13.4	Recyklace ve vysoké peci	127
14	SOUČASNÝ STAV A PERSPEKTIVY VÝROBY SUROVÉHO ŽELEZA.....	132
14.1	Základní technicko-ekonomické ukazatele výroby surového železa.....	133
14.2	Perspektivy vysokopecní výroby surového železa	134
14.3	Způsoby výroby železa mimo vysokou pec	135

1 SUROVINY PRO VÝROBU AGLOMERÁTU A PELET A JEJICH ÚPRAVA

Členění kapitoly:

- Suroviny pro výrobu aglomerátu
- Suroviny pro výrobu pelet
- Požadavky na rudnou část vsázky pro výrobu aglomerátu
- Požadavky na paliva pro výrobu aglomerátu
- Požadavky na zásadité přísady pro výrobu aglomerátu
- Požadavky na suroviny pro výrobu pelet
- Technologie výroby aglomerátu
- Prodyšnost aglomerační směsi
- Řízení výrobnosti aglomeračního zařízení
- Řízení jakosti aglomerátu



Čas potřebný ke studiu: 130 minut



Cíl: Po prostudování této kapitoly

- pochopíte smysl a způsoby aglomerace a peletizace rud;
- seznámíte se se základními surovinami pro výrobu aglomerátu;
- pochopíte technologické požadavky na složky aglomerační vsázky;
- seznámíte se se složením a požadavky na peletizační vsázku ;
- seznámíte se se základními principy výroby aglomerátu;
- pochopíte důležitost prodyšnosti aglomerační vsázky;
- seznámíte se s vlivem vlhkosti na prodyšnost aglomerační vsázky;
- pochopíte úlohu vratného aglomerátu při výrobě aglomerátu;
- pochopíte pojem jakosti vyráběného aglomerátu;



Výklad

1.1 Suroviny pro výrobu aglomerátu

Hlavním účelem spékání železných rud (aglomerace) je zkusování prachových surovin pro výrobu surového železa ve vysoké peci. Přitom se zásadně mění i vlastnosti původní rudné suroviny. Vsázka pro výrobu aglomerátu se skládá ze tří základních částí.

- a) Rudná část vsázky je tvořena aglomeračními rudami (agloruda) a železorudnými koncentráty.

Aglomerační ruda je prachová přírodní surovina (železná ruda) o zrnitosti pod 10 mm. Má obvykle relativně nižší obsah železa (pod 60 %).

Koncentrát je produkt obohacování železných rud. Mívá větší obsah železa (nad 60%) a menší zrnitost (pod 1mm). Vyšší podíl koncentrátu v rudné části aglomerační směsi zvyšuje bohatost vyrobeného aglomerátu, ale může snižovat výrobnost aglomeračního pásu a zvyšovat emise prachových částic do ovzduší. V současnosti je hlavní rudní složkou aglomerační vsázky.

Nezanedbatelnou část rudné vsázky tvoří prachové odpady obsahující železo. Jedná se hlavně o odprašky a kaly vznikající v hutní výrobě i v jiných odvětvích průmyslu. Výhodné je použití okují, strusek apod. Jejich podíl je omezen obsahem škodlivých prvků, hlavně zinku, olova, kadmia, alkalických sloučenin, barevných kovů apod.

- b) Aglomerační koks je prachová frakce vyráběného koksu o zrnitosti 0 až 3 mm. Výjimečně se jako náhrada koksu používá antracit. Běžné druhy uhlí se nepoužívají, protože prchavé látky kondenzují na deskách elektrostatických filtrů, kde způsobují požáry. Stejný účinek může mít i použití zaolejovaných okují.
- c) Zásadité přísady tvoří dolomitický vápenec, vápenec, případně dolomit. Jejich úkolem je zajistit dostatečnou bazicitu vysokopecní vsázky tak, aby se minimalizoval přídavek kusových zásaditých přísad do vysoké pece pro zajištění potřebné viskozity strusky. Část přísad se může dávkovat ve formě páleného vápna. Sníží se tím množství tepla potřebná na disociaci, a hlavně se změní povrchové napětí vody, zvětší se kapilární síly, smáčivost a sbalovatelnost spékané směsi (výrobnost aglomeračního zařízení).

1.2 Požadavky na jednotlivé složky aglomerační vsázky

Rudná část vsázky

Aglomerační ruda – je dodávána v zrnitosti pod 10 mm. Zrna větší než 10 mm nejsou vhodná, protože odvod tepla z povrchu zrna do jeho vnitra je příliš velký. Na povrchu zrna je nízká teplota, nedochází k jeho natavení a zrno se nespojí s jinými zrny.

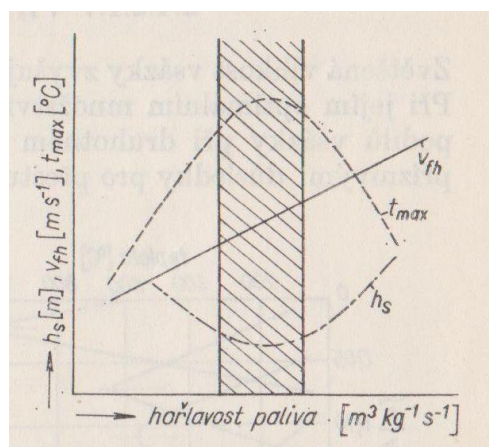
Koks (palivo)

Hoření koksu je hlavní reakcí spékacího procesu. Teplo vznikající při této reakci zajišťuje vznik taveniny potřebné ke spojování jednotlivých rudných zrn. Kromě ohřevu vsázky hořením koksu probíhá ve spékané vrstvě i výměna tepla. V horní části ohřívá horký aglomerát spalovací vzduch a pod spékacím pásmem odevzdávají horké spaliny teplo spékané vsázce. Aglomerační vrstvou tedy probíhají dvě tepelné vlny. Jedna od hoření koksu, druhá od výměny tepla. Pokud se rychlosti pohybu jednotlivých tepelných vln příliš liší, dochází k zvětšení spékacího pásma, ke snížení maximální teploty a ke snížení postupu fronty hoření.

Obě tepelné vlny by měly postupovat přibližně stejnou rychlostí (ve fázích). Jelikož rychlost výměny tepla nejsme schopni regulovat, regulujeme rychlost hoření koksu. Protože rychlost hoření závisí na velikosti měrného povrchu zrnitého materiálu, regulujeme rychlost hoření koksu změnou velikosti jeho zrn. Jak vidno z obr. 1, optimální podmínky spékání jsou v oblasti mezi hořlavostí H_1 a H_2 (H_1 je levá hranice a H_2 pravá hranice vyšrafovaného sloupce).

Obr.1: Závislost technologických parametrů spékání na hořlavosti paliva

Pro koks je hodnota hořlavosti H_1 kolem 1 mm, hořlavosti H_2 přibližně 3 mm. Pro antracit je



optimální zrnitost 1 až 2 mm (menší pórovitost), pro dřevěné uhlí 2 až 4 mm.

Zásadité přísady

Zásadité přísady by měly být o zrnitosti pod 3 mm. Jednotlivé zrna zásaditých přísad v první fázi podléhají disociaci, ve druhé fázi musí produkt rozkladu CaO zreagovat, obvykle s SiO₂ z nataveného povrchu rudných zrn. Protože uvedené reakce určitou dobu trvají, a proces spékání je rychlý, zůstává středová část původního zrna nezreagovaná jako volné CaO.

Projeví se to bílými skvrnami ve vyrobeném aglomerátu. Vápno absorbuje ze vzduchu vlhkost a je příčinou jeho rozpadavosti.

U všech složek aglomerační vsázky není vhodný vysoký obsah velmi jemných částic (pod 0,5mm). Mají obvykle špatnou smáčivost a zvyšují emise prachu do ovzduší. V praxi se tyto částice z ekonomických důvodů neodstraňují.

Peletizace rudných surovin

Pelety se vyrábějí vždy na území těžby železných rud a do metalurgického závodu se dovážejí. Peletizace je způsob zkusování materiálů o zrnitosti zpravidla menší než 0,2 mm. Z navlhčených jemnozrnných materiálů v sbalovacím zařízení vznikají surové sbalky pevnosti 5 až 50 N/sbalek, které se v další fáze zpevňují.

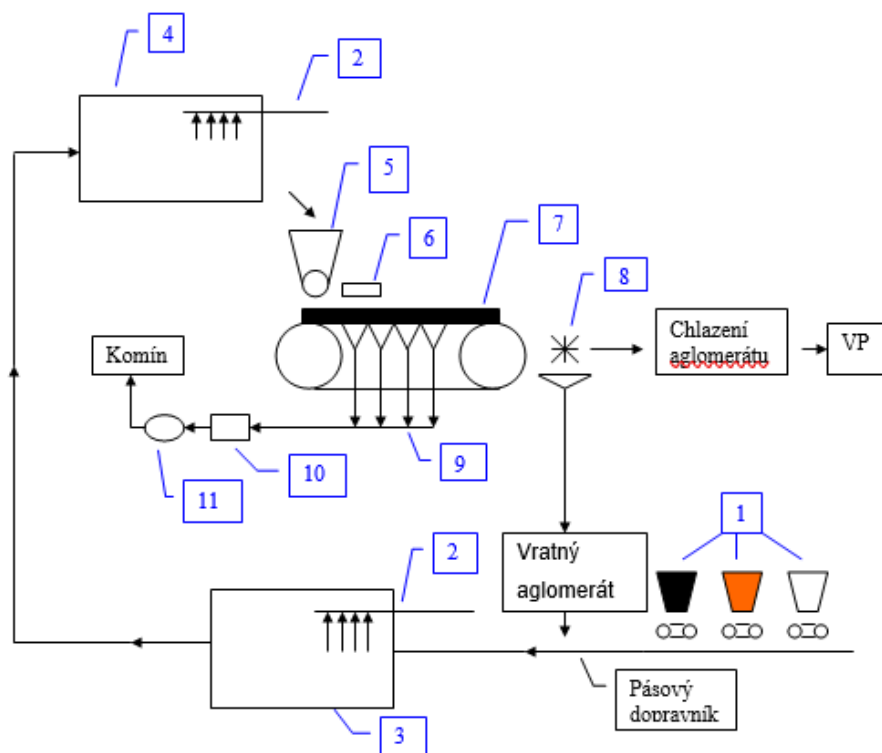
Vsázka pro výrobu pelet se skládá z rudné části a pojiv. Rudná část je tvořena bohatými koncentráty o zrnitosti pod 0,2 mm. Některé závody požadují až 75 % zrn pod 0.04 mm. Důležitá je dobrá smáčivost povrchu zrn. Druhou složkou paletizační vsázky je pojivo. Nejčastěji se používá bentonit, jehož hlavní složku tvoří montmorilonit. Zlepšuje sbalování paletizační směsi a pevnost sbalků i pelet. Vsázka neobsahuje palivo, k ohřevu se používá většinou plynu. Zásadité přísady se taktéž nepřidávají do vsázky, aby pelety vydržely náročnou přepravu na dlouhé vzdálenosti.

Technologie výroby aglomerátu

Na obrázku 2 je uvedeno schéma provozního kontinuálního způsobu výroby aglomerátu na spékacím pásu.

Směs aglomerační rudy, jemnozrnného koncentrátu, přísad a paliva se před spékáním zvlhčí. Ve sbalovacím bubnu se předpeletizuje s cílem zmenšit podíl jemnozrnných částic a zvýšit prodyšnost směsi. Předpeletizovaná směs, uložená na spékacím zařízení, se na povrchu vrstvy zapálí silným vnějším zdrojem tepla a účinkem prosávaného vzduchu pak hoření postupně pokračuje i v dalších částech vrstvy, ve směru prosávaného vzduchu, a tak zabezpečuje vytvoření a ochlazení taveniny. Teploty hoření se pohybují v rozmezí 1300 až 1500 °C.

Vyhořením paliva nad roštem, proces spékání končí. Aglomerát opouští aglomerační zařízení, dále se drtí, třídí, chladí a dopravuje do zásobníků vysokých pecí. Při třídění vzniká určitý podíl drobné a prachové frakce, který se nazývá vratný aglomerát. Tento vratný aglomerát se při dává do aglomerační směsi a pohybuje se kolem 25 % a opětovně se spéká. Větší množství vratného aglomerátu snižuje výtěžnost a výkon spékacího zařízení. Vratný aglomerát má při spékání příznivý vliv na prodyšnost spékané směsi, protože má větší zrnitost jako mikrosbalky spékané směsi a také tím, že zahřívá vsázku. Kromě toho obsahuje složky, které již prošly spékáním, a proto spotřeba tepla na spečení vratného aglomerátu je nižší než na spečení surové rudy.



Obr. 2: Schéma výroby aglomerátu

1 – zásobník koksu, rudy a vápence, 2 – přívod vody, 3 – míchací buben prvního stupně, 4 – míchací buben druhého stupně, 5 – dávkovací zásobník, 6 – zapalovací hlava, 7 – spékací pás, 8 – drtič a třídíč aglomerátu, 9 – odsávací potrubí, 10 – elektrostatický odlučovač prachu, 11 – exhaustor

1.3 Řízení výrobnosti aglomeračního zařízení a řízení jakosti aglomerátu

Řízení výrobnosti aglomeračního pásu

Za předpokladu nezměněného složení vsázky a při stejné technologii výroby aglomerátu je množství vyrobeného aglomerátu přímo úměrné rychlosti spékacího pásu (v_{SP}). V reálných

podmínkách se rychlost pásu musí přizpůsobovat technologickým změnám a složení a vlastnostem spékané směsi.

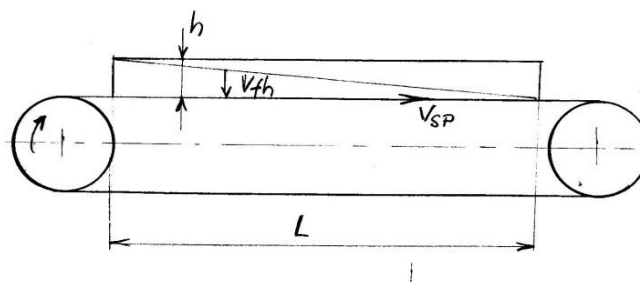
V případě, že je rychlost spékacího pásu příliš velká, spékání není na konci pásu dokončeno. Pohyb pásma spékání (fronty hoření) končí v určité vzdálenosti nad roštovou plochou. Aglomerační směs pod touto plochou se nespěče jen se vysuší a přechází zpět do vsázky jako součást vratného aglomerátu. Tato skutečnost výrazně snižuje výrobnost aglomeračního pásu a destabilizuje další spékací proces.

Když je rychlost spékacího pásu příliš nízká, spékání končí daleko před koncem odsávané plochy a výrobnost prudce klesá.

Rychlost spékacího pásu se proto reguluje tak, aby spékání končilo těsně před koncem pásu, obvykle nad předposlední odsávací komorou.

Identifikace a řízení polohy konce spékání je tedy prvním předpokladem řízení výrobnosti aglomeračního zařízení. Pro kontrolu a regulaci místa kde se fronta hoření dotkne roštové plochy (roštoviny), se využívá zjišťování polohy maximální teploty spalin pod roštem, polohy maxima osvětlení roštu (fotónky), nebo poklesu obsahu CO₂ ve spalinách. Po splnění předpokladu stabilizace konce spékání je možno pokračovat v analýze řízení výrobnosti zařízení.

Jak je patrné z obr. 3, pro pohyb spékacího pásu musí platit:



Obr. 3 Závislost rychlosti spékacího pásu na rychlosti pohybu fronty hoření

$$\frac{L}{h} = \frac{v_{SP}}{v_{fh}}$$

Protože délka spékacího pásu a výška spékané vrstvy se v praxi nemění, rychlost spékacího pásu je možno vyjádřit :

$$v_{SP} = \frac{v_f h * L}{h}$$

Rychlost spékacího pásu tedy závisí lineárně na rychlosti, kterou se pohybuje fronta hoření od povrchu k roštu. Při nezměněných konstrukčních podmínkách závisí na parametrech, které ovlivňují rychlost pohybu fronty hoření.

Rychlost fronty hoření závisí nejvíc na rychlosti hoření paliva (prachového koksu). Při stejné hořlavosti použitého paliva a jeho granulometrickém složení záleží rychlost hoření paliva na intenzitě přísunu kyslíku do pásma fronty hoření. Protože přísun kyslíku do místa hoření je zabezpečován prosáváním vzduchu spékanou vrstvou, závisí rychlost hoření na mezerovitosti vrstvy, na její prodyšnosti.

Protože prodyšnost zrnité vrstvy zatím není možno v praxi vždy kontinuálně určovat, nahrazuje se většinou hodnotou tlakové ztráty v zrnité vrstvě (tlakové difference).

Nejčastěji se pro výpočet tlakové difference používá tzv. Ergunova vzorce :

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\Delta h}{d \cdot \Phi} \cdot \frac{\rho_0 \cdot w_0^2}{2} \cdot \frac{T}{T_0} \cdot \frac{P_0}{P}$$

kde ΔP je ztráta tlaku plynu v zrnité vrstvě (Pa)

ξ – součinitel aerodynamického odporu (1)

ε – mezerovitost vrstvy ($m^3 \cdot m^3$)

Δh – výška hodnoceného sloupce (m)

d – střední lineární rozměr zrn (m)

Φ – součinitel tvaru zrn (1)

ρ_0 – hustota plynu ($kg \cdot m^{-3}$)

w_0^2 – rychlost proudění plynu ($m \cdot s^{-1}$)

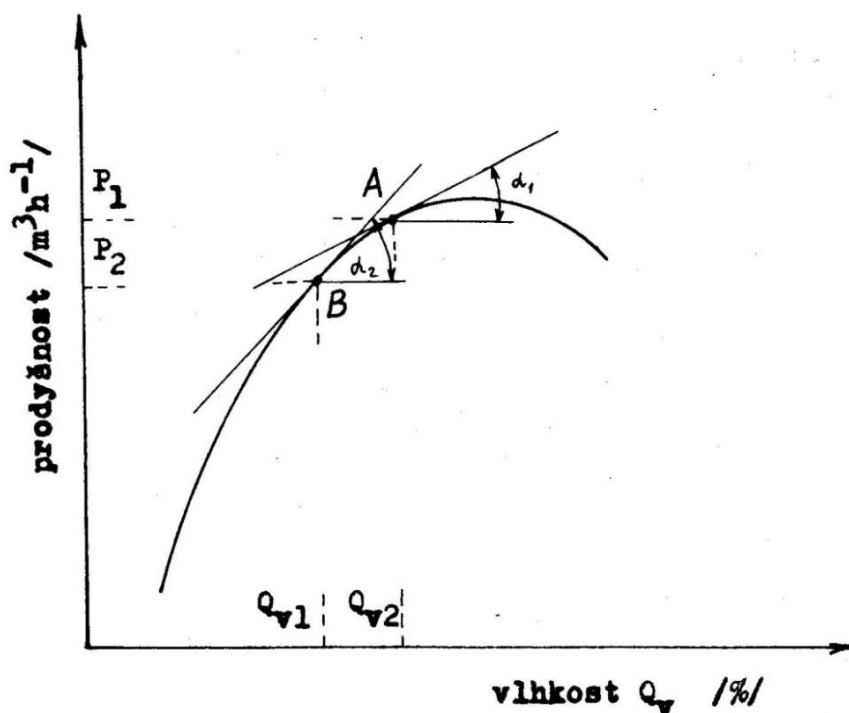
T – skutečná teplota plynu (K)

T_0 – standardní teplota plynu (K)

P – skutečný tlak (Pa)

P_0 – standardní tlak (Pa)

Z uvedeného vzorce vyplývá, že tlakovou diferencí je možno snižovat (zvyšovat prodyšnost) prakticky hlavně zvětšováním středního průměru zrna vsázky (d_s) a zlepšováním součinitele tvaru zrna (ϕ). Mezerovitost (ε) je daná hodnotami uvedených veličin. Rozhodující význam má tedy funkce sbalovacího bubnu tj. tvorba mikropelet ve druhém stupni míchání aglomerační směsi. Výrobnost spékacího pásu se tedy řídí dávkováním vody do bubnu druhého stupně. V současnosti se měřením zjišťuje křivka závislosti vlhkost – prodyšnost aglomerační směsi, viz. obr. 4. Dávkováním vody se udržuje vlhkost směsi těsně před maximem uvedené křivky. Práce na vrcholu křivky by byla riskantní pro možnost převlhčení směsi.



Obr. 4 Závislost prodyšnost-vlhkost spékané směsi

Optimální vlhkost aglomerační směsi však mění svoji hodnotu i polohu v závislosti na složení směsi (homogenizační hromady), ale i na podílu vratného aglomerátu, jeho teploty, stavu roštnic a podobně. Pro přesné řízení prodyšnosti spékané směsi je proto potřeba měřit kontinuálně oba parametry – vlhkost a prodyšnost směsi a aktuálně určovat polohu maxima křivky a podle ní řídit množství přidávané vody.

Řízení jakosti vyrobeného aglomerátu

Mezi základní jakostní parametry vyrobeného aglomerátu patří jeho redukovatelnost a pevnost. Protože se zvyšováním redukovatelnosti klesá pevnost aglomerátu naopak, je řízení jakosti aglomerátu hledáním kompromisu mezi těmito parametry. Protože aktuální hodnoty pevnosti a redukovatelnosti obvykle nejsou známy, hledají se náhradní ukazatele. Využívá se skutečnost, že jakost aglomerátu nejvíc závisí na tepelném režimu tj. na množství paliva ve vsázce. Při vysokém obsahu paliva je ve vrstvě hodně tepla, vzniká více taveniny. Tavenina po ztuhnutí vytvoří mezi zrny silné můstky-pevnost se zvyšuje. Tavenina však zaleje póry, klesá měrný povrch a redukovatelnost silně klesá. Naopak nízký obsah paliva ve vsázce způsobuje výrobu málo pevného, ale dobře redukovatelného aglomerátu.

Mírou pevnosti aglomerátu může být množství vratného aglomerátu (frakce aglomerátu pod 6,3 mm). Když množství vznikajícího vratného aglomerátu stoupá, znamená to, že pevnost hotového aglomerátu klesá a redukovatelnost stoupá a naopak. Do cesty vratného aglomerátu se teda musí zabudovat zásobník a kontrolovat jeho hmotnost (vážením), anebo výšku hladiny vratného aglomerátu v zásobníku. Když hmotnost vratného aglomerátu v zásobníku klesá, znamená to, že pevnost stoupá a redukovatelnost klesá. Obsluha ubere palivo a parametry jakosti se vrátí na původní hodnoty.



Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- **železná ruda, koncentrát;**
- **aglomerační koks;**
- **hořlavost koksu;**
- **pojivo;**
- **bentonit;**
- **aglomerační pás;**
- **prodyšnost aglomerační směsi;**
- **vlhčení aglomerační směsi;**

- **vratný aglomerát;**
- **mikropeletizace směsi;**
- **rychlost fronty hoření;**
- **rychlost spékacího pásu;**



Otázky:

1. Jaké je složení aglomerační vsázky?
2. Jaký je rozdíl mezi koncentrátem s aglorudou?
3. Jaká zrnitost aglomerační rudy se používá?
4. Jaká zrnitost zásaditých přísad se používá pro spékání?
5. Vysvětlete pojem aglomerace a peletizace
6. Na čem závisí zrnitost koksu pro spékání?
7. K čemu se používá bentonit?
8. Co znamená pojem – volné zásady?
9. K čemu slouží míchací buben a předpeletizační buben?
10. Podle čeho se řídí výrobnost aglomeračního pásu?
11. Na čem závisí rychlost hoření aglomeračního koksu?
12. Co může být náhradním ukazatelem pevnosti aglomerátu při jeho výrobě?
13. K čemu slouží Ergunův vzorec?
14. Jaký je vztah mezi vlhkostí a prodyšností aglomerační směsi?



Doporučená a použitá literatura:

1. Brož, L. Teoretické základy výroby železa, SNTL/ALFA, Praha,1975,404 s.
2. Babich,A. a kol. : IRONMAKING, Aachen,2008, 402 s., ISBN 3-86130-997-1.

2 SUROVINY PRO VYSOKOPECNÍ VÝROBU SUROVÉHO ŽELEZA

Členění kapitoly:

- Suroviny pro vysokopecní výrobu surového železa
- Požadavky na jakost rudných surovin;
- Požadavky na jakost vysokopecního koksu
- Požadavky na jakost zásaditých přísad
- Vývoj požadavků na vlastnosti vysokopecních surovin



Cíl: Po prostudování této kapitoly

- pochopíte základní funkce dopravních cest a denních zásobníků;
- pochopíte důležitost třídění surovin před skipem;
- pochopíte důležitost technologických vlastností rudných surovin;
- seznámíte se se zkouškami kvality vysokopecního koksu;
- seznámíte se s funkcemi a požadavky na zásadité přísady;
- seznámíte se se současnými trendy v hodnocení jakosti surovin;



Čas potřebný ke studiu: 120 minut



Výklad

2.1 Suroviny pro výrobu surového železa

Rudná vsázka pro vysokopecní výrobu surového železa se skládá hlavně z aglomerátu a pelet. V současnosti tvoří aglomerát přibližně 70 % rudné vsázky a pelety zbylých 30 %. Aglomerát má proti peletám výhodu, že je zásaditý a má dobrou pevnost při redukci, zatímco pelety mají ideální tvar a vyšší obsah železa. Výjimečně se používají kusové surové rudy, ocelářská struska, která nahrazuje i část struskotvorných přísad. Přídavek ocelářské strusky však výrazně zvyšuje obsah fosforu v surovém železe, proto se používá jen minimálně. Jako vsázková surovina se používá i ocelový odpad (šrot), hlavně při výrobě slévárenského surového železa s nízkým fosforem. Do vysoké pece se sází i manganová ruda. Z ekonomických důvodů se její prosazování omezuje na kampaně při technologické poruše v nístěji (zarůstání nístěje) ke snížení viskozity. Použití železorudných briket (hlavně z prachových odpadů) se zatím uplatňuje málo, protože pojiva používané k zajištění pevnosti nevydrží vysoké teploty. V podstatě je možno do vysoké pece sázet každý materiál obsahující železo a je v kusovém stavu (pevné).

Vysokopecní koks plní ve vysoké peci úlohu redukovadla, paliva, nauhličovadla a funkci „nosné kostry“. V posledním období se část klasického vysokopecního koksu nahrazuje drobným koksem (pod 30 mm), zaváženým spolu s rudnou vsázkou. Měrné množství tohoto koksu dosahuje až 100 kg na tunu surového železa. Jen výjimečně se část koksu nahrazuje kvalitním antracitem.

Zásadité přísady zabezpečují ve vysoké peci vznik strusky požadovaného složení a vlastností. Protože hlušina rud a popel koksu jsou kyselé, přísady jsou vždy zásadité. Používá se hlavně následujících přísad : Vápenec – CaCO_3 , Dolomitický vápenec – $[\text{Ca Mg}]\text{CO}_3$, Dolomit – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, případně Ankerit – $\text{Ca}[\text{Mg,Fe,Mn}]\text{CO}_3$.

2.2 Požadavky na jakost jednotlivých vysokopecních surovin;

Rudná vsázka

Požadavky na rudné suroviny vycházejí z požadavku, aby náklady na výrobu surového železa při použití dané suroviny byly minimální. Jednotlivé vlastnosti se nemají posuzovat izolovaně, ale i v úzké vazbě s ostatními vlastnostmi.

Chemické a mineralogické vlastnosti

Chemické a mineralogické vlastnosti surovin jsou dané jejich chemickým složením a množstvím a rozložením jednotlivých mineralogických složek.

Obsah základního kovu (železa), by neměl být nižší než 50 %. Tato vlastnost (kovnatost), ale nemusí být rozhodující. Důležitou roli hraje i chemická povaha hlušiny (zásaditost). Tuto skutečnost respektuje parametr „bohatost rudné vsázky“.

$$B_r = \frac{\%(Fe + Mn)}{100 + p} \cdot 100$$

Kde „p“ je spotřeba zásadité přísady na 100 kg rudné suroviny.

Z chemického složení vychází i definice bazicity (zásaditosti). Používá se jako úzká bazicita (B_1), nebo rozšířena bazicita (B_2).

$$B_1 = \frac{CaO}{SiO_2} \qquad B_2 = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3}$$

Podle hodnoty bazicity s rudné suroviny rozdělují na kyselé ($B < 1$), neutrální ($B = 1$), nebo zásadité ($B > 1$). Suroviny, které mají bazicitu stejnou jako je požadovaná bazicita strusky se nazývají samohutní.

Mezi chemické vlastnosti patří i obsah škodlivých látek. Některé látky se považují za škodlivé, protože narušují průběh vysokopecního pochodu, např. zinek, olovo, alkalické sloučeniny, chlór, apod. Většina škodlivých prvků je nežádoucí, protože snižují kvalitu oceli vyrobené z daného surového železa (síra, fosfor, arzén, barevné kovy atd.). Zařazení mezi škodlivé prvky závisí na značce vyráběné oceli.

Mineralogické vlastnosti surovin jsou charakterizované tvarem a velikostí minerálních složek (rudná struktura) a jejich prostorovým rozložením (rudná textura).

Fyzikální vlastnosti

Vlhkost rudné suroviny souvisí hlavně s její strukturou a zrnitostí. Hygroskopická voda adsorbovaná na povrchu kusů a v pórech stěžuje manipulaci se surovinou. V zimním období způsobuje nadměrná vlhkost zmrznutí dovážených rud a nutnost jejich rozmrazování. Vlhkost ovlivňuje i sypané vlastnosti rudných surovin. Chemicky vázaná voda zvyšuje měrnou spotřebu koksu. Hydrátová voda se však většinou odstraňuje při tepelné úpravě rud před zpracováním ve vysoké peci.

Pro přímé použití ve vysoké peci je optimální zrnitost rudných surovin 10 až 60 mm. Z analýzy vlivu zrnitosti na prodyšnost zrnitých materiálů vyplývá, že vysokopecní vsázka by neměla obsahovat materiály o zrnitosti menší než 6 mm.

V praxi má pro prodyšnost vrstvy rudné vsázky velký význam rozptyl zrnitosti (granulometrická homogenita), která má být co nejmenší. Granulometrické složení výrazně ovlivňuje sypané vlastnosti surovin a tuto skutečnost můžeme využít pro řízení plynových proudů ve vysoké peci.

Hustota rudných surovin je podíl hmotnosti vzorku rudy a jeho objemu. Hustoty se dělí podle toho, co se do objemu vzorku započítává.

Skutečná hustota závisí na mineralogickém složení rudné suroviny. Objem se zjišťuje pyknometricky na jemně rozemletém vzorku.

Zdánlivá (objemová) hustota zahrnuje objem póru. Zjišťuje se odměřením objemů kusů rudné suroviny známé hmotnosti, vyvařených v parafínu. Objem se zjišťuje v odměrném válci, podle objemu vytlačené kapaliny.

Sypná hustota je číselně nejmenší, neboť zahrnuje kromě póru i objem mezer mezi kusy rudy. Zjišťuje se vážením surovinou naplněné nádoby o známém objemu.

Ze sypných vlastností je nejdůležitější sypný uhel, jehož znalost se využívá při práci zásypaných zařízení vysokých pecí a při projektování rudných skládek.

Pórovitost surovin je definována podílem pevnou hmotou nezaplňného objemu z celkového objemu kusu suroviny. Počet pórů v objemové jednotce a jejich velikost charakterizuje měrný povrch, který určuje velikost reakčního povrchu, na němž závisí především redukovatelnost.

Technologické vlastnosti

Pevnostní charakteristiky

Pevnost v tlaku se u rudných surovin zjišťuje prakticky jen u pelet, vyjadřuje se silou, při které peleta praskne a udává se v jednotce Newton na peletu.

Nejrozšířenější je pevnostní zkouška otíravosti, která je normalizována v rámci ISO. Provádí se v bubnu podobném zkoušce MICUM, ale o šířce 0,5 m. Pevnost je určena podílem zrn větších než 6,3 mm. Hodnotí se i „otěr“ jako podíl zrn pod 0,5 mm.

Redukovatelnost rudných surovin

Redukovatelnosti se označuje rychlost přeměny oxidu železa na kov působením redukčního plynu, nebo také doba, za kterou dojde k úplné redukci oxidu železa. Hodnocením míry redukce je úbytek hmotnosti kovonosné vsázky za jednotku času. Úbytek hmotnosti je zapříčiněn přechodem kyslíku z vsázky do plynu.

$$R_i = \frac{\Delta O}{\Sigma O} * 100 \quad [\%]$$

kde R_i – Stupeň (nepřímé) redukce plynem

ΣO – Celkové váhové množství kyslíku vázaného na železo, [g]

ΔO – Rozdíl váhového množství kyslíku v rudě v průběhu redukce plynem, [g]

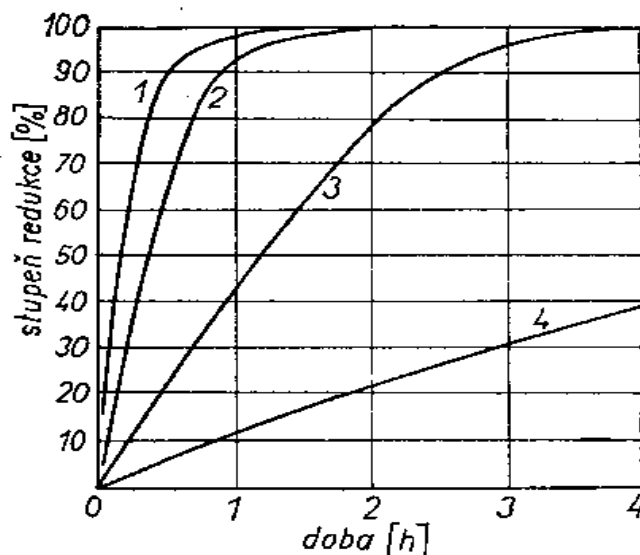
Vliv redukovatelnosti na práci vysoké pece je velmi významný, dá se z ní určit spotřebu paliva a volba vhodné kusovosti. Hodnota redukovatelnosti se mění zejména úpravou za tepla (spékáním). Křivky redukovatelnosti pro různé druhy rud přináší obr. 5. Na redukovatelnost má také vliv pórovitost vsázky, čím je vsázka pórovitější, tím větší má reakční povrch a tím je rychleji redukována plynem.

Pórovitost je definovaná podílem hmotou nezaplňeného objemu z celkového objemu kusu rudy. Mezi póry se zahrnují všechny volné prostory uvnitř kusu rudy včetně trhlin. Podle velikosti se rozlišují makropóry, póry střední velikosti a mikropóry.

Pórovitost je obecně vyjádřena vztahem:

$$\varepsilon_r = \left(1 - \frac{\rho_{zdánlivá}}{\rho_{skut}}\right) * 100 \quad [\%]$$

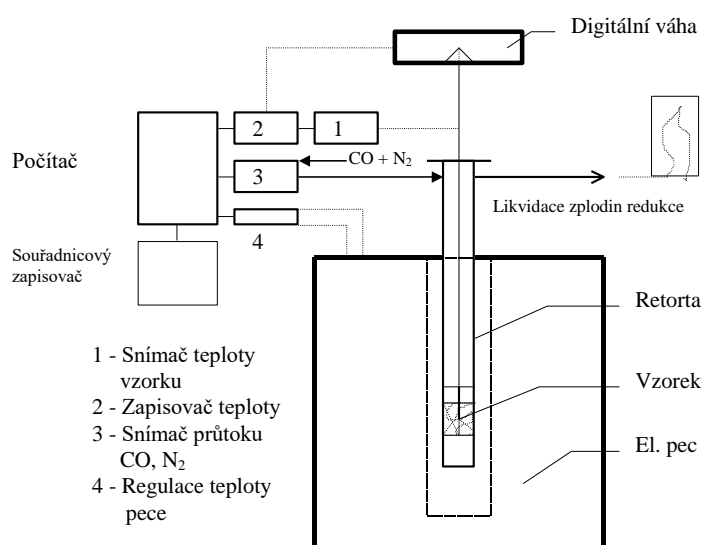
Pórovitost a redukovatelnost však nemusí být v přímé závislosti, protože se během redukce mění hlavně struktura a zejména pórovitost a vnitřní povrch.



Obr. 5 Křivky redukovatelnosti rud

1,2, - snadno redukovatelná ruda, 3 – středně těžce redukovatelná ruda, 4 – Těžce redukovatelná ruda

Redukovatelnost je důležitá metalurgická vlastnost kovonosné vsázky. Základní metodika vysokoteplotní zkoušky redukovatelnosti podle ISO je následující: Vzorek železoruďného materiálu o hmotnosti 500 g zrnění 10–12.5 mm umístíme do retorty o vnitřním průměru 75 mm. Retorta se vzorkem je zavěšena na váze a nahřívána v el. peci za současného průtoku čištěného N_2 ($25 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$). Po dosažení $950 \text{ }^\circ\text{C}$ zvýšíme průtok dusíku na $50 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Po dosažení úbytku 65 % hmotnosti O_2 vázaného na oxidy železa a po ochlazení inertním plynem test redukovatelnosti končí. Schéma zařízení pro měření redukovatelnosti viz.obr. 6.



Obr. 6 Schéma měření redukovatelnosti rudných surovin

$$v_{40} = \left| \frac{dR}{dt} \right|_{\left(\frac{O}{Fe} = 0,9 \right)_{t_{60} - t_{30}}} = \frac{33,6}{t_{60} - t_{30}}, (\% \text{min}^{-1})$$

kde :

t_{30} - doba dosažení 30 % R (min)

t_{60} - doba dosažení 60 % R (min)

33,6 - konstanta

Hlavním parametrem testu je rychlost redukce v_{40} , která udává rychlost odbourávání kyslíku v $\% \cdot \text{min}^{-1}$ při čtyřicetiprocentním redukčním stupni. Ustálení teploty ve vzorku, probíhá redukce průtokem 50 l/min směsí CO + N₂ (40 % + 60 %).

Jako u většiny standardizovaných metod zkoušení jsou testy redukovatelnosti dle ISO provedeny u každého materiálu 2 krát a výsledky v_{40} zprůměrovány.

Rozpadavost po redukcí

Statická rozpadavost rudných zrn po R podle VÚHŽ vykazuje míru rozpadu rud, pelet a aglomerátu po Ri_{60} (65) a Ri_{22} . Po zkoušce R VÚHŽ (ISO₉₅₀) je vzorek namáhán v otáčivém bubnu o průměru 1000 mm, šířky 120 mm se 3 lištami. Buben se otáčí rychlostí 25 otáček za minutu a po 1, 5 a 25 otáčkách jsou vzorky podrobeny kontrolnímu rozsevu na sítích 1 mm, 4 mm a spodní hranice měřeného zrna. Množství vzniklého otěru 0 – 1 mm (0 – 4 mm) a zbytek původního zrna v hmotnostních procentech charakterizují otěr a pevnost po předredukci za vysokých teplot.

Nízkoteplotní rozpadavost po statické redukcí (RDI)

Test, kterým je hodnocena míra odolnosti aglomerátu nebo rudy během redukce v horní části šachty vysoké pece proti rozpadu zrna. Metoda spočívá v redukcí 500 g vzorku železoruďného materiálu zrna 10 – 12,5 mm v retortě stejných rozměrů jako při testu R ISO₉₅₀, ale při teplotě 500 °C a směsi plynů CO + CO₂ + N₂ (20/20/60 %). Průtok plynů je 20 l.min⁻¹, celková doba R , 60 minut. Po ochlazení pod N₂ je vzorek namáhán 300 otáčkami v bubnu rozměrů Ø130 x 200 mm (2 příčné lišty, rychlost otáčení 30 ot. min⁻¹). Indexy pevnosti a rozpadavosti po R jsou získány po rozsevu a vyhodnocení podílů zrna + 6,3 mm, + 3,15, příp. 3,15 a pod 0,5 mm.

Teploty počátku a konce měknutí dynamické (t_1 , t_5) jsou definovány jedno a pětiprocentní deformací objemu vzorku na přírůstek teploty 10 °C. Dynamický interval teplot $i_1 = (t_5 - t_1)$.

Teploty měknutí statické (t_p , t_k) jsou stanoveny při 1 % ním a 40 % ním snížení původní výšky vzorku. Interval teplot statický $i_2 = (t_k - t_p)$. Teplota měknutí t_a značí vznik prvního výrazného minima odcházejících plynů, t.j. začátek přímé redukce.

Koks

Chemické složení koksu

Neměnnou součástí každého koksu je popel, který by neměl přesáhnout 8 - 9 %, vlhkost 4,5 %, síra 1 % a prchavé látky 1 %. Naproti tomu obsah uhlíku by měl být větší než 90 %. Tyto hodnoty však neodpovídají požadavkům na jakostní vysokopecní koks, zejména obsah popela, který je škodlivý a stále existují potřeby pro jeho snižování, neboť každé procento popela zvyšuje měrnou spotřebu koksu o cca 2 %. Co se týče vlhkosti, tak ta není škodlivá jen proto, že každé procento zvětšuje měrnou spotřebu o cca 1,5 % ale také proto, že voda nabaluje mnoho prachového podílu na povrch koksu což zhoršuje jeho pórovitost a znesnadňuje jeho třídění z hlediska měrné hmotnosti. S obsahem síry se dá hýbat hlavně vhodným výběrem černého uhlí před karbonizací, protože z praxe vyplývá, že karbonizací se dá odsířit asi 30 %, což vzhledem k výtěžnosti koksu (70 %) se obsah síry příliš nemění. Při zvýšení obsahu síry o 0,1 % se měrná spotřeba koksu zvýší až o 1,5 % a spotřeba vápence na jeho zpětné snížení až o 2 %. Prchavé látky jsou vizitkou dokonalé karbonizace, proto se jejich obsah pohybuje pod 1 %.

Jakost vysokopecního koksu se v současnosti hodnotí hlavně zkouškami, které popisují jeho pevnostní charakteristiky a jeho reaktivitu. Podle současných znalostí o průběhu degradace koksu ve vysoké peci je možno vlastnosti koksu v uvedených směrech hodnotit následujícími zkouškami:

- 1) Zkouška MICUM popisující pevnostní charakteristiky koksu za studena v oxidační atmosféře. Odpovídá namáhání koksu při třídění, skladování, dopravě koksu do vysoké pece a jeho pobytu v horní části šachty vysoké pece.
- 2) Zkouška CSR – CRI, která popisuje odolnost vůči degradaci koksu v průběhu Boudouardovy reakce. Určitou alternativou této zkoušky u nás může být zkouška reaktivity vysokopecního koksu dle VÚHŽ Dobrá a. s.
- 3) Zkouška CSACR – ACRI charakterizující pevnost a reaktivitu koksu po reakci popela koksu s jeho uhlíkem.

- 4) Zkouška otíravosti koksu za horka (ξ), která zohledňuje namáhání koksu při cirkulaci před výfučnami vysoké pece.
- 5) Zkouška SUNDGREEN, u které se jedná o tzv. velkou bubnovou zkoušku. Vychází z hodnocení 410 kg koksu o zrnitosti nad 40 mm.
- 6) Bubnové zkoušky ASTM, které se používají v USA a jsou označeny normou ASTM D-2490-64 (34 kg koksu) a ASTM D-294-64 (10 kg koksu), to znamená, že pro drobný koks se odebírá 34 kg o zrnitosti 25 mm a pro hodnocení hrubého koksu 10 kg o zrnitosti nad 50,8 mm.
- 7) Bubnová zkouška JIS – jedná se o bubnovou zkoušku podle japonské normy JIS, která bývá také označována DI (Drum Index).
- 8) Bubnová zkouška BS (British Standard) – hodnotí se 12,5 kg koksu velikosti 60 – 90 mm po 1000 otáčkách.
- 9) Bubnová zkouška IRSID je vlastně modifikovaná zkouška MICUM pro drobnější koks (nad 20 mm). Hodnotí se pevnost I_{20} (zbytek po 500 otáčkách na síť 20 mm) a otěrnost I_{10} (procentuální podíl, který propadne sítem o průměru 10 mm).
- 10) Pádová zkouška Shatter Test (Anglie) – jde o britský standard (BS), který hodnotí 50 kg koksu o zrnitosti nad 60 mm po jednom pádu na ocelovou desku z výšky 1,8 m.
- 11) Pádová zkouška Drop Shatter Test (USA) – hodnocení drobného koksu pod 50 mm se provádí podle ASTM D-141-66. Hrubý koks nad 50 mm se hodnotí dle ASTM D-2640-67.
- 12) V USA se provádí hodnocení koksu také na základě tzv. komplexního indexu.

Uvedené typy zkoušek se zaměřují na hodnocení fyzikálních a fyzikálně mechanických vlastností koksu, které se zjišťují pomocí bubnových a pádových zkoušek. Zkoušky CSR – CRI a CSACR – ACRI slouží také k hodnocení reaktivity koksu.

U speciálních metod hodnocení koksu z hlediska fyzikálně – chemických vlastností jde zejména o studium mikro a makrostrukturních vlastností, zejména se jedná o možnost stanovení a zhodnocení trhlinatosti, klasifikace pórů a stěn se stanovením pórovitosti a stěnovitosti, mikrotvrdosti stěn koksové hmoty, pevnosti v tlaku a tahu, měrného povrchu a reaktivity, rentgenometrického stanovení faktoru velikosti krystalických částic koksu, elektrického odporu a vodivosti, sorpčních metod ke stanovení texturních vlastností koksu, melitelnosti atd.

Odolnost proti otěru:

Jedná se o nejdůležitější mechanickou vlastnost koksu, jelikož veškerý koks, který je dopravován do vysoké pece projde různými zařízeními a při několikerém přesypování se z něj oddělují menší frakce, které jsou pak pro vysokopecní pochod velmi škodlivé.

Mezi hlavní metody, kterými se zjišťuje odolnost proti otěru patří především zkouška MICUM.

Zkouška MICUM se provádí v ocelovém bubnu, který je dlouhý 1 m a v průměru čítá rovněž 1 m, viz. obr. 7. Vně bubnu jsou umístěny čtyři úhelníky posunuté vůči sobě o 90°

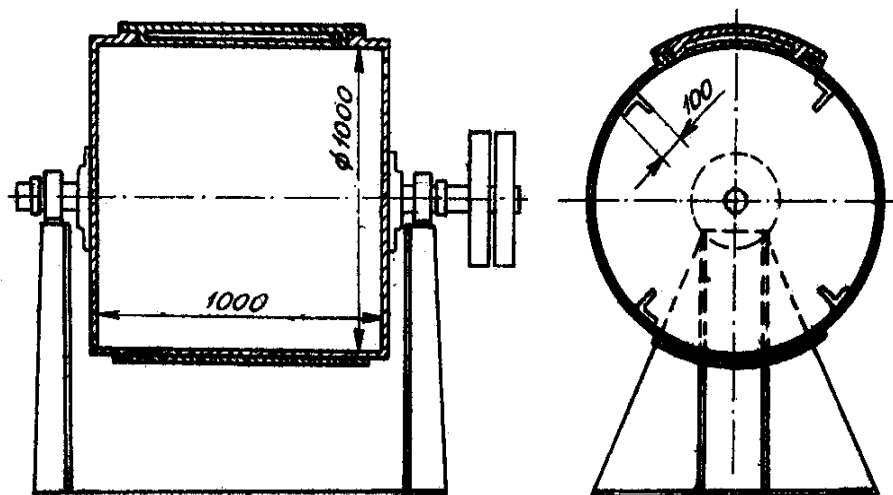
Buben je umístěn na čepch nebo se otáčí kolem průběžné hřídele a za minutu vykoná 25 otáček. Do bubnu se vloží vzorek o váze 50 kg a po čtyřech minutách, čili 100 otáčkách se koks vytrídí na podíly pod 10 mm, 10 až 40 mm a nad 40 mm. Tyto podíly se následně zváží a zbytek kusového koksu nad 40 mm tvoří v procentech hodnotu M₄₀, naproti tomu podíl pod 10 mm udává hodnotu M₁₀. Vysokopecní koks by měl mít hodnotu M₄₀ co největší a to od 65 %, naproti tomu hodnota M₁₀ nemá přesahovat 10 %.

Pevnost koksu se vypočítá podle vzorce

$$M_{40} = \frac{m_1}{m} * 100 \quad [\%]$$

kde: m_1 je hmotnost koksu zrnění nad 40 mm po zkoušce v kg

m je navážka vzorku koksu v kg



Obr. 7 Buben pro zkoušku MICUM

Otíravost koksu se vypočítá podle vzorce

$$M_{10} = \frac{m_2}{m} * 100 \quad [\%]$$

kde m_2 je hmotnost koksu zrnění pod 10 mm po zkoušce v kg

Zkouška CRI

Zkouška CRI vyjadřuje index reaktivity koksu a jedná se o jednu z důležitých zkoušek jakosti koksu.

Jako zkušební vzorek se naváží 200 g vysušeného koksu a vzorek se vloží do retorty. Otevřou se hlavní ventily tlakových lahví s CO_2 a N_2 a spustí se přehřívání CO_2 . Zapne se elektrická pec a podle nastaveného teplotního režimu se pec vyhřeje na teplotu 1000°C . Retorta se umístí do topné komory elektrické pece, k hornímu a spodnímu víku se připojí plynové potrubí a zapne se přívod dusíku. Do otvoru v horním víku reakční trubice se zasune termočlánek a připojí se na svorky snímacího zařízení. Zpustí se teplotní režim, který řídí náběh teploty na reakční teplotu 1100°C a zároveň se zapne záznam analýzy. Vlastní reakční program probíhá v šesti krocích, v 1. - 4. a 6. kroku je do retorty přiváděn dusík, 5. krok probíhá v kyslíkové atmosféře, zkouška trvá cca 2,5 hod. Po ukončení reakce se odpoj a vyjme termočlánek z trubice a odpoj se přívod plynu na spodní části trubice. Zastaví se přívod dusíku a retorta se vytáhne z prostoru pece a přemístí do manipulačního prostoru. Nasadí se kovový ochranný obal a ihned se připojí ke spodnímu víku přívod dusíku z tlakové láhve. Trubice se nechá vychladnout na pokojovou teplotu, poté se přívod plynu zastaví. Topná komora pece se uzavře izolační zátkou, vypne se topení, přehřívání CO_2 a ukončí se záznam průběhu zkoušky.

Zkouška CSR

Jedná se o zkoušku pevnosti koksu po reakci s CO_2 a provádí se po zkoušce CRI.

Po vychladnutí reakční trubice se odšroubuje horní víko, vysype se vzorek koksu, který se zváží. Vzniklé kovové okuje je nutné oddělit od vlastního zplyněného vzorku koksu. Zvážený vzorek se umístí do rotačního bubnu, který se uzavře víkem. Vynuluje se otáčkoměr a uvede se buben do pohybu. Po 600 otáčkách se buben zastaví, odšroubuje víko a vzorek se vyjme a vytřídí na síť 10 mm. Podíl koksu nad 10 mm se zváží a následně se provede výpočet pevnosti a reaktivity koksu.

$$CRI = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 [\%]$$

$$CSR = \frac{m_3}{m_2} \cdot 100 [\%]$$

kde m_1 - hmotnost kovu před reakcí v g

m_2 - hmotnost koksu po reakci v g

m_3 - hmotnost části koksu o zrnitosti > 10 mm po bubnové zkoušce v g

Hodnota indexu reaktivity by měla být menší než 35 % a hodnota CSR by měla být větší než 55 %.

Zásadité přísady

Podíl zásaditých přísad ve vysokopecní vsázce se v současnosti velmi omezuje. Pokud je ve vsázce obsažen obyčejně netvoří samostatnou vrstvu, ale se do vsázky přidává spolu s rudnou vsázkou. Kromě požadavku na vysoký obsah volných zásad se u struskotvorných přísad klade důraz na vhodné granulometrické složení. Spodní hranice zrnitosti by neměla klesnout pod 20 mm, aby se nesnižovala prodyšnost vsázkového sloupce. Velikost zrn přísad by neměla přesahovat 40 mm. U větších zrn dochází k disociaci až ve spodní části pece, v oblasti vysokých teplot, což snižuje teplotu, jež by měla být v této oblasti co nejvyšší. Zároveň CO_2 z disociace reaguje s uhlíkem koksu (Boudouardova reakce), která je též silně endotermická a snižuje průměr zrn koksu ve spodní části vysoké pece. Zhoršuje se mezerovitost koksové vrstvy a klesá výrobnost vysoké pece.



Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- **rudná vsázka;**
- **bohatost rudné vsázky;**
- **redukovatelnost rudné vsázky;**
- **termoplastické vlastnosti rudných surovin;**
- **otíravost rud a koksu, reaktivita koksu, CSR, CRI;**
- **zásadité přísady;**



Otázky:

1. Co obsahuje rudná vsázka?
2. Jaké jsou funkce koksu ve vysoké peci?
3. K čemu slouží zásadité přísady ve vysoké peci?
4. Co je redukovatelnost rudných surovin?
5. Jaká je zrnitost zásaditých přísad ve vysoké peci a proč?
6. Které jsou nejdůležitější vlastnosti rudných surovin a koksu?
7. Podle čeho se určuje množství zásaditých přísad ve vsázce?
8. Jak je definována reaktivita vysokopecního koksu?
9. Na základě jakých informací se stanoví podíl koksu ve vysokopecní vsázce?
10. Jaké jsou výhody aglomerátu ve srovnání s peletami?
11. Proč musí být zrnitost rudných surovin větší než 6,3 mm?



Úloha k řešení: Vypočtete potřebu vápence na 100kg pelet o složení :CaO_p -3 %, MgO_p- 0,6 %, SiO_{2p}-6%, Al₂O_{3p}-0,2% při složení vápence CaO_v -56 %, MgO_v- 0,6 %, SiO_{2v}-0,8%, Al₂O_{3v}-0,2% , CO₂-43 %. Požadovaná bazicita strusky je B₂ = 1,11



Doporučená a použitá literatura:

1. Brož, L. Teoretické základy výroby železa, SNTL/ALFA, Praha,1975,404 s.
2. Babich,A. a kol. : IRONMAKING, Aachen,2008, 402 s., ISBN 3-86130-997-1

3 ZAVÁŽENÍ VYSOKÉ PECE

Členění kapitoly:

- Doprava surovin na sazebnu vysoké pece
- Funkce sazebního zařízení
- Hlavní části zvonové sazebny
- Princip bezzvonové sazebny
- Výhody bezzvonové sazebny ve srovnání se zvonovou
- Ukládání materiálu na povrch vsázky ve vysoké peci;



Čas potřebný ke studiu: 60 minut



Cíl: Po prostudování této kapitoly

- pochopíte základní funkce dopravních cest a denních zásobníků;
- pochopíte důležitost třídění surovin před skipem;
- seznámíte se se základními funkcemi sazebních zařízení;
- budete znát princip práce zvonové sazebny, její nevýhody a přednosti;
- seznámíte se s principem a funkcí bezzvonové sazebny;
- budete znát výhody bezzvonových sazeben;
- seznámíte se s principy ukládání vsázkových materiálů;



Výklad

Zavážením (sypáním) se rozumí vytváření struktury sloupce vsázky v prostoru vysoké pece. Struktura materiálů ovlivňuje většinu procesů vysokopečního pochodu: plynodynamickou prodyšnost, kontakt pevné vsázky a plynu, výměnu tepla a průběh redukce, polohu a tvar kohezivního pásma, charakteristiky „mrtvého muže“ a tím, prostřednictvím vlivu na výrobnost, měrnou spotřebou koksu, jakost produkce a opotřebení pecního zařízení (lze formulovat také jako dobu kampaně vysoké pece), i souhrnnou ekonomickou efektivnost výroby surového železa. Výzkum sypání a využití získaných poznatků je proto nezbytné posuzovat systémově v celém souhrnu poznatků o vysokopečním pochodu.

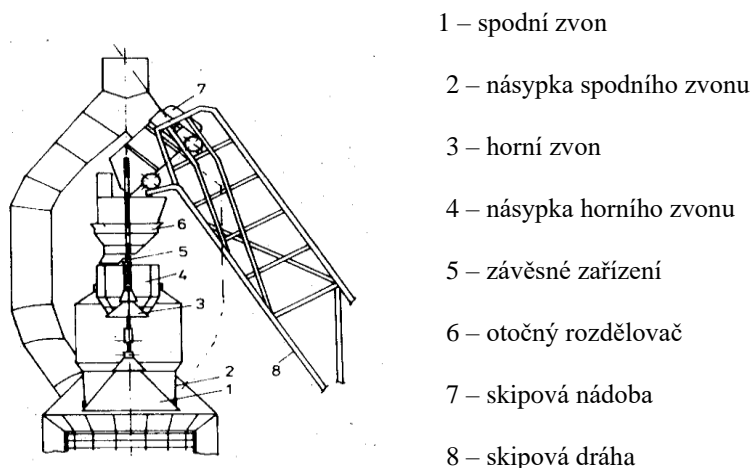
Suroviny se do vysoké pece dopravují z denních zásobníků (zásoba na 1 den). Před nasypaním do skipové nádoby se jednotlivé suroviny třídí. Odstraňuje se drobná frakce, podle požadavků na jejich zrnitost. Důležité je to hlavně u rudné části vsázky, kde se odstraňují zrna pod 6,3 mm (5 mm).

Vlastní rozložení vsázky po průřezu sazební se provádí sazebním zařízením. Klasická zvonová sazební je již v současnosti technicky překonaná, protože úhel zvonu se nedá měnit a rozdělování materiálu po průřezu sazební se provádělo hlavně řízením velikosti a pořadí jednotlivých vsázek. Dnes se zvonové sazební používají jen u vysokých pecí vyrábějících nízkofosforaté surová železa, kde je potřeba sázet do vysoké pece ocelový odpad.

3.1 Typy sazeben

Účelem sypání je dosáhnout rovnoměrného proudění redukčních plynů po průřezu i výšce vysoké pece. Základním principem je, že sypeme drobnozrnnou vsázku (rudnou) tam, kde chceme proudění potlačit a hrubozrnnou vsázku (koks) tam, kde chceme proudění podpořit. K tomu potřebujeme poznat jaké je skutečné rozložení plynových proudů (kap. 6). Výšku povrchu vsázky v současnosti kontrolujeme pomocí zařízení založeném na mikrovlnného záření. Radiální rozložení plynových proudů vyhodnocujeme na základě měření teploty plynu a obsahu CO₂ v 8 místech po obvodu a v ose sazební nad povrchem vsázky. Kde plyn proudí rychleji, naměříme vyšší teplotu a nižší obsah CO₂. Moderní vysoké pece využívají horizontální zásuvní sondu. Sonda se zasouvá do vsázky, pod její povrch a měří kontinuálně teplotu a složení redukčních plynů od stěny pece po její osu.

Příklad násypného zřízení je na obrázku č. 8.



- 1 – spodní zvon
- 2 – násypka spodního zvonu
- 3 – horní zvon
- 4 – násypka horního zvonu
- 5 – závěsné zařízení
- 6 – otočný rozdělovač
- 7 – skipová nádoba
- 8 – skipová dráha

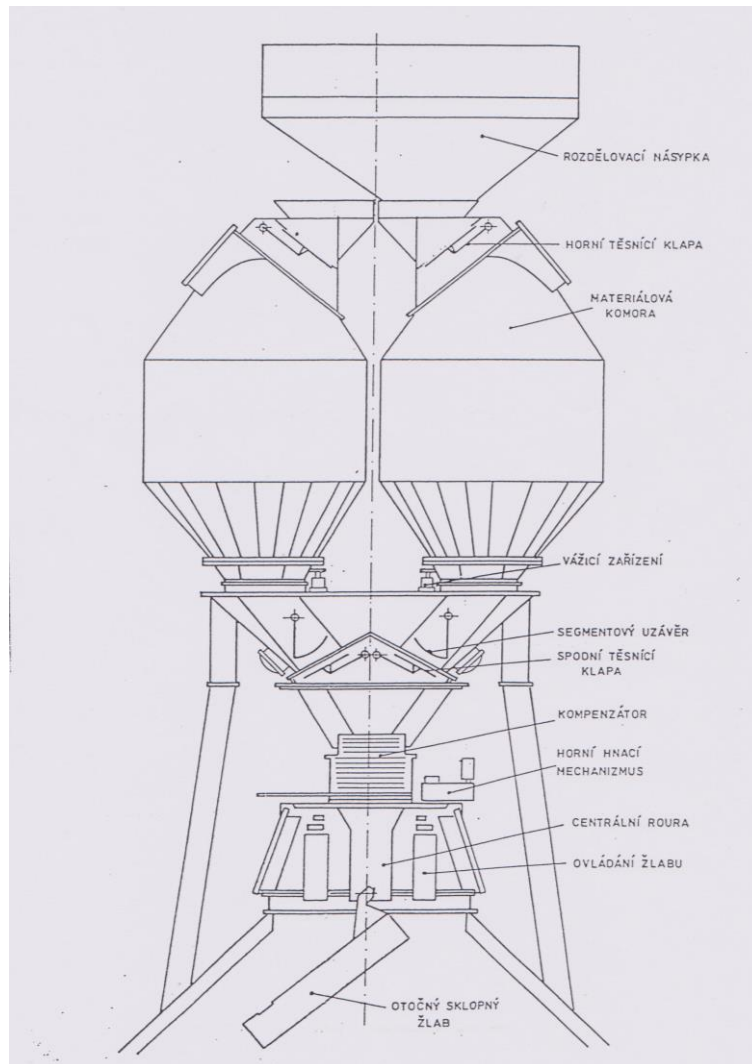
Obr. 8 Násypné zařízení Mc Kee s otočným rozdělovačem české konstrukce

Zvyšování užitečného objemu vysoké pece (jejich rozměrů) a používání vysokého tlaku způsobilo, že zvonové sazební přes značné zdokonalení, nebyly schopny zajistit účelné rozložení jednotlivých komponent vsázky po povrchu vsázky ani utěsnit vnitřní prostor vysoké pece od atmosféry.

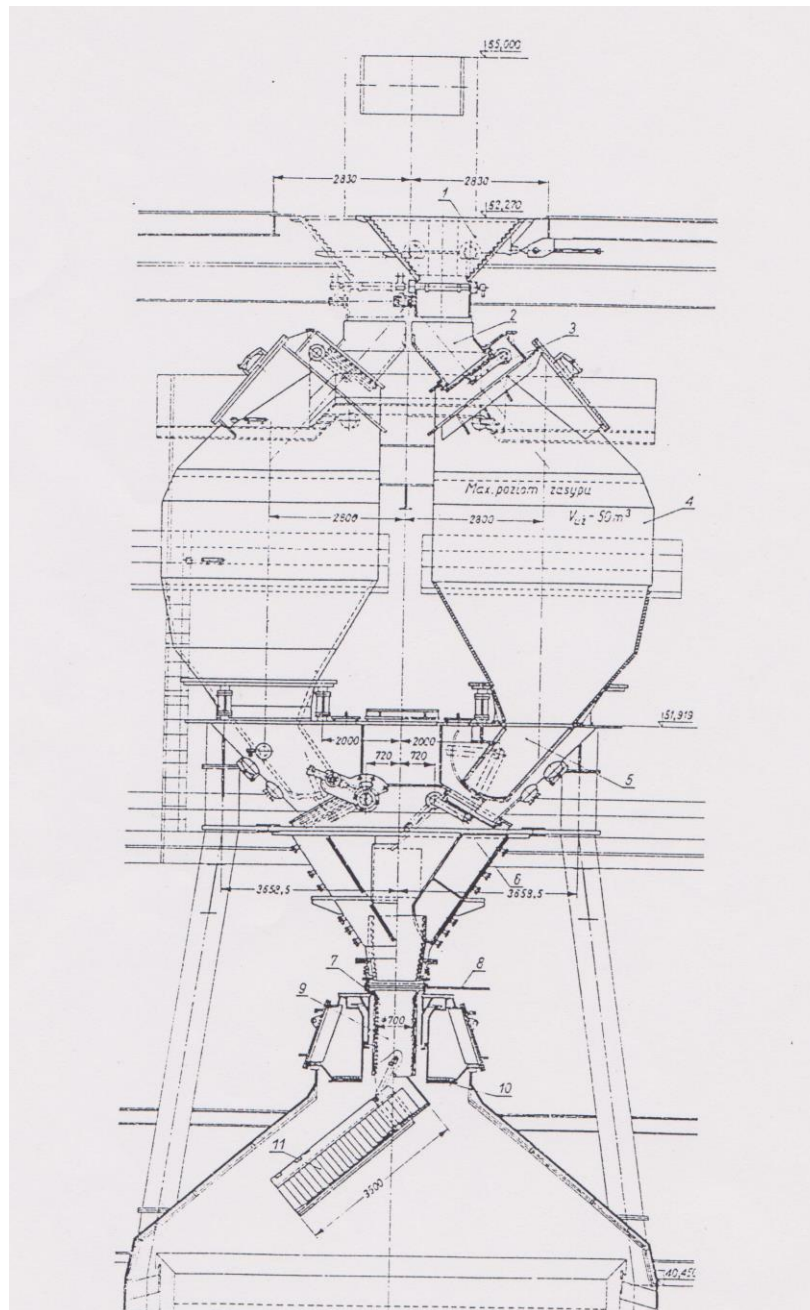
Z těchto důvodů byla vyvinuta bezzvonová sazebná. Původní návrh byl vypracován v Československu (patent ing. Babinec 1956). Princip je ve dvou materiálových komorách, které se střídavě propojují s pecním prostorem, nebo plnicím zařízením (přesuvná násypka).

Ve vlastní peci rotuje sklopný žlab, jenž rozděluje materiál po povrchu vsázkového sloupce v radiálním směru. Žlab má 2 rychlosti otáčení, může zastavit a sypat bodově. Může mít až 24 možných uhlů sklápění. V podstatě může sypat vybranou složku vsázky na libovolné místo sazební. Složitým problémem je spojit informace o aktuálním existujícím profilu povrchu vsázky a o rozložení plynových proudů s funkcí bezzvonové sazební. Schéma a technické provedení bezzvonové sazební je na obr. 9. a 10.

Kromě relativně dokonalých možností ukládání komponent vysokopeční vsázky na povrch vsázky a účinného utěsnění vysoké pece je velkou výhodou zjednodušení oprav sazební. Výměna, nebo oprava malých lehkých komponent bezzvonové sazební se dá provést během běžného stání pece, zatímco výměna objemného zvonu, nebo mísy byla potřeba dlouhodobější odstávka pece.



Obr. 9: Popis bezzvonové sazebny



Obr. 10: Technické provedení bezzvonové sazebný



Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- rudný most, denní zásobníky;
- skipový výtah;

- **zvonová sazebna;**
- **bezzvonová sazebna;**
- **materiálové komory;**
- **profil povrchu vsázky ve vysoké peci;**



Otázky:

1. Jakou funkci má pevná násypka zvonové sazebny?
2. Jakou funkci má rotační násypka zvonové sazebny?
3. Kolik zvonů může mít zvonová sazebna?
4. Kterých parametrů je možno využít k řízení ukládání vsázky po průřezu sazebny vysoké pece?
5. Jaké jsou nevýhody zvonových sazeben?
6. K čemu slouží materiálové komory bezzvonové sazebny?
7. K čemu slouží žlab bezzvonové sazebny a jaké jsou její výhody?
8. Jaké zařízení se používá k měření profilu zavážky?
9. Dá se k řízení sypání použít analýzy vysokopecního plynu?



Doporučená a použitá literatura:

1. Brož, L., Bilík, J., Kret, J. : Vysokopecní výroba surového železa, VŠB-TU Ostrava, 1985, 231 s.
2. Babich, A. a kol. : IRONMAKING, Aachen, 2008, 402 s., ISBN 3-86130-997-1
3. KRÓL, L.: Konstrukcja i urzadzenia wielkiego pieca. Slask – Katowice, 480s.

4 DMÝCHÁNÍ VĚTRU A NÁHRADNÍCH PALIV DO VYSOKÉ PECE

Členění kapitoly:

- Důvody a možnosti ohřevu vysokopecního větru
- Ohříváče větru s vnitřní spalovací šachticí
- Ohříváče větru s vnější spalovací šachticí
- Ohříváče větru bez spalovací šachtice
- Dmyšné soustavy vysokých pecí
- Injektáž plyných paliv do nístěje vysokých pecí
- Injektáž tekutých paliv do nístěje vysokých pecí
- Injektáž pevných paliv do nístěje vysokých pecí
- Obohacování větru kyslíkem
- Teoretická teplota před výfučnami
- Řízení jakosti surového železa



Čas potřebný ke studiu: 110 minut



Cíl: Po prostudování této kapitoly

- pochopíte potřebu ohřívát vysokopecní vítr a řídit jeho složení;
- seznámíte se s principy ohřevu větru a potřebným počtům ohříváčů větru;
- pochopíte konstrukci a technologii ohřevu v ohříváčích s vnitřní a vnější spalovací šachticí;
- seznámíte se s principy ohříváčů větru bez spalovací šachtice;

- seznámíte se s funkcí dmyšné soustavy a jejich částí;
- seznámíte se z technologií injektáže plyných, tekutých a pevných paliv do nístěje vysoké pece;
- seznámíte se s technologií obohacování větru kyslíkem;
- pochopíte princip řízení tepelně-teplotního stavu nístěje a jakosti surového železa;



Výklad

Do vysoké pece je třeba na každý 1 m³ užitečného objemu dmýchat za 1 min 1,6 až 2,2 m³ větru (menší hodnota se vztahuje na vítr obohacený kyslíkem) tj. 1400 m³.t^{sž}⁻¹. Dmýchaný vítr vždy obsahuje určité množství vlhkosti (pára), která reaguje s uhlíkem paliva za vzniku CO a H₂, takže uvnitř oxidačního prostoru se vyskytuje CO, CO₂, O₂, H₂, H₂O a N₂. Na hranicích oxidačního prostoru mizí kyslík i vodní pára a rychle klesá CO₂. Takže v každém místě za hranicí oxidačního prostoru jsou v plynu obsaženy pouze CO, H₂ a N₂.

Proudění plynů ve vysoké peci probíhá tak, že žhavé plyny z oxidačního pásma prostupují sloupec surovin a proudí směrem k sazebně. Ve spodních částech VP tyto plyny obsahují jen CO, H₂ a N₂, během proudění vsázkou odevzdávají podstatnou část svého tepla vsázce, podstatně ji redukují, čímž se obohacují CO₂ a vodní parou. Během proudění plynu se vsázka ohřívá, měkne a zmenšuje svůj objem, čímž klesá a uvolňuje místo pro novou zavažku. Největší pokles vsázky je v oblasti výfučen, v místech mimo oxidační oblast je pokles vsázky pomalejší vlivem nepřímé redukce. Rychlost, kterou redukční plyn proudí sloupcem surovin závisí především na intenzitě hoření paliva, dosahuje 10 až 25 m.s⁻¹, zatímco suroviny klesají rychlosti 2,5 až 3,5 m.h⁻¹. Tyto hodnoty se liší v závislosti na prodyšnosti vsázky, a ta může být v každém místě vysoké pece odlišná. Vysoká pec je protiproudový reaktor a výměník tepla, ve kterém je rovnoměrný chod podmíněn plynulým sestupem surovin a již roztaveného železa. Regulace je možná jen účelným řízením intenzity proudění plynu v jednotlivých oblastech vysoké pece. Pokud dojde k situaci, kdy součet sil působících na jednotlivé kusy vsázky proti směru jejich pohybu dosahuje hodnoty jejich tíhy, patří sem především

dynamický tlak plynu (vztlaková síla) a tření surovin o pracovní vyzdívku vysoké pece, dojde k tzv. zavěšení vsázky (zastavení sestupu surovin).

Příprava vysokopecního větru začíná ohřevem vzduch v ohřivačích větru. Ještě předtím se musí studený vzduch v kompresorové stanici stlačit na potřebný tlak. Vlhčení větru se taktéž provádí před ohřevem větru, protože vodní pára má trojatomové molekuly, které mají větší tepelnou kapacitu než dvouatomové. Zvýšení vlhkosti ohřivaného vzduch tak způsobí zvýšení entalpie ohřátého větru.

Vlastní ohřivače větru jsou regenerativního typu, což znamená, že v prvním období se teplojemná výplň ohřívá horkými spalinami, které vznikají v spalovací šachtici spalováním směsného plynu se vzduchem. Směsný plyn i spalovací vzduch se před vlastním spalováním předeřívá odpadním teplem. Říká se, že ohřivač větru je na plynu. V druhé fáze teplojemná náplň, která v sobě v první fázi akumulovala teplo odevzdává toto teplo studenému vzduchu, ohřívá ho na potřebnou teplotu. Ohřátý vítr se dopravuje horkovětrným šoupátkem do okružného větrovodu a přes dmyšné armatury do vysoké pece. Průtok se reguluje horkovětrným šoupátkem.

V současnosti se nejčastěji používají 4 ohřivače větru. Toto uspořádání umožňuje dosahovat dostatečně vysoké teploty a minimalizovat její kolísání. Umožňuje i bezproblémový provoz ohřivačů větru i při poruše, nebo opravě jednoho ohřivače.

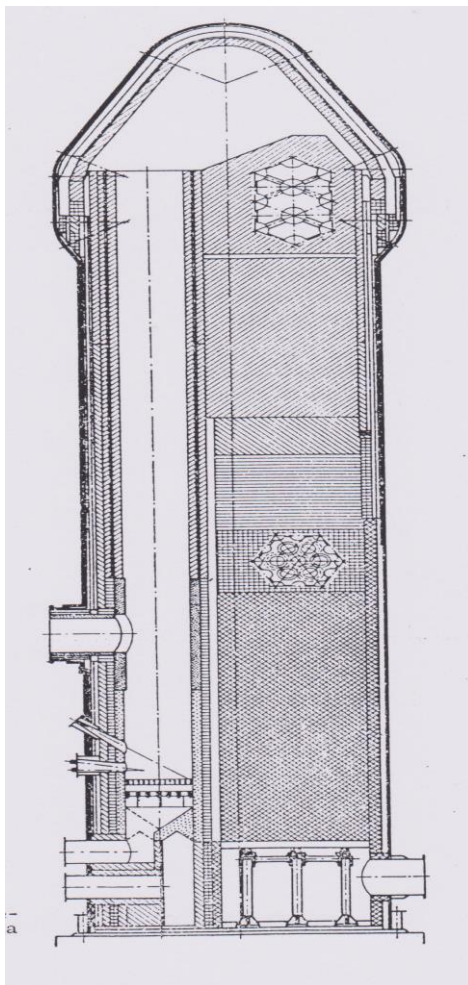
Ve světě se používají tři koncepce ohřivačů větru :

- Ohřivače větru s vnitřní spalovací šachticí
- Ohřivače větru s vnější spalovací šachticí
- Ohřivače větru bez spalovací šachtice

4.1 Ohřivače větru s vnitřní spalovací šachticí

Schéma ohřivače větru s vnitřní spalovací šachticí je na obr. 11 a 12. Uvnitř, na levé straně ohřivače, u ocelového pláště je umístěna spalovací šachtice. Může mít kruhový, půlkruhový, elipsovitý, nebo oválný průřez. Ze statického hlediska je nejvýhodnější kruhový průřez, zabírá však největší prostor, a má nejhorší rozdělení plynových proudů. Ve spodní části šachtice je keramický hořák, ve kterém dochází ke spalování. Horké spaliny stoupají do kopule, kde mění směr proudění a při proudění přes mřížoví ho ohřívají. Jednou z kritických oblastí je kopule, kde se musí kontrolovat maximální teplota.

Výhodou umístění spalovací šachtice uvnitř vlastního tělesa ohřívače jsou menší tepelné ztráty do okolí.

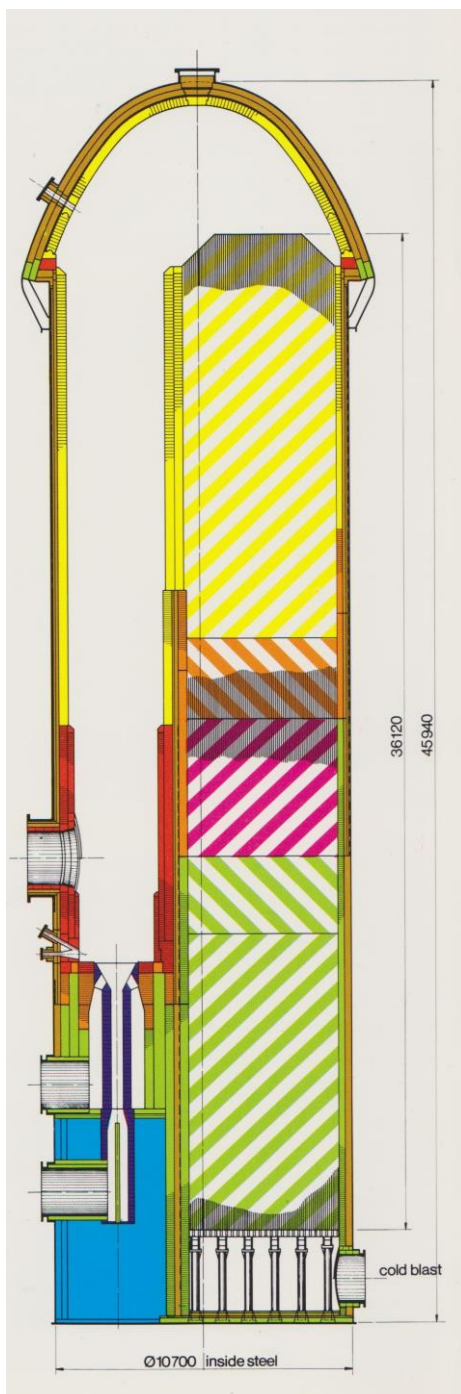


Obr. 11 : Ohřívač větru s vnitřní spalovací šachticí

Nejvíce namáhána je spalovací šachtice z důvodu nerovnoměrného tepelného namáhání.

- Uvnitř šachty je teplota po výšce přibližně stejná, ale na straně mřížové teplota od kopule směrem k roštu klesá
- Teplota vyzdívky šachty na straně mřížové je jiná než u obvodového zdiva, má různou tepelnou dilataci. Teplota se mění s místem i s časem.
- Teplota stěny šachty v spalovacím prostoru má vyšší teplotu, než na straně mřížové. Horká strana má větší tepelný nárost než chladná strana a stěna má snahu ohýbat se k chladnější straně.
- Ohýbání spalovací šachty a praskání zdiva rostou s velikostí ohřívače větru a délkou spalovací šachty.

Kopule bývá uložena na plášti ohřívачe, aby obvodové zdivo mohlo volně dilatovat (přesazená kopule).

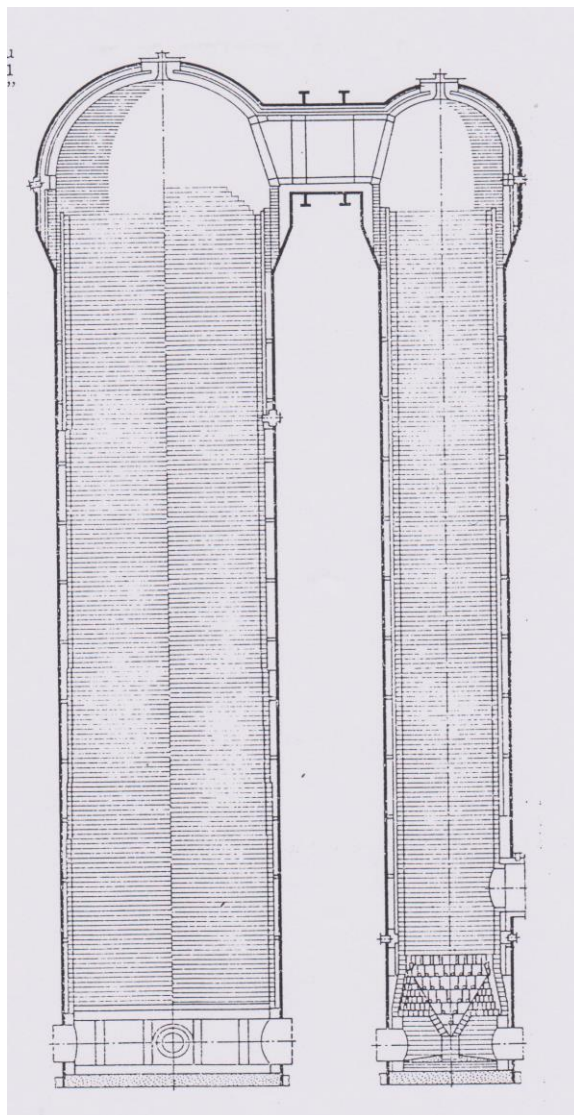


Obr. 12 Schéma ohřívачe větru s vnitřní spalovací šachticí

4.2 Ohřívачe větru s vnější spalovací šachticí

Potíže s poškozováním zdiva u ohřívачů s vnitřní spalovací šachtou vedli k rozdělení ohřívачe na dvě části, samostatnou šachtu a nádobu s mřížovím. Obě nádoby jsou propojeny spojovací

kopulí. Existují tři základní koncepce, které se liší právě spojovací kopulí. Tepelná dilatace mezi nádobami je vyrovnávána pomocí kompenzátorů. Proti ohřivačům větru s vnitřní šachtou nejsou tak velké problémy se zdivem, mají lepší rozdělení plynových proudů, mají však větší tepelné ztráty. Schéma viz. obr.13.



Obr.13 Ohřivač větru s vnější spalovací šachticí

4.3 Ohřivače větru bez spalovací šachtice

Ohřivače větru bez spalovací šachtice jsou nejnovějším, perspektivním řešením Ohřevu větru. Principem je umístění spalovacího prostoru do kopule nad mřížoví. Existují následující typy :

- OV s horáky po obvodu kopule
- OV s tangenciálními horáky

- OV s keramickým hořákem v ose ohřívače

Výhody OV bez spalovací šachtice

- lepší využití půdorysného prostoru
- menší povrch ohřívače
- menší hmotnost pláště a vyzdívky
- vyšší účinnost ohřevu

Hodnocení velikosti ohřívačů větru

Moderní ohřívače větru mají vysokou měrnou výhřevní plochu : $38-49\text{m}^2\text{m}^{-3}$ mřížoví

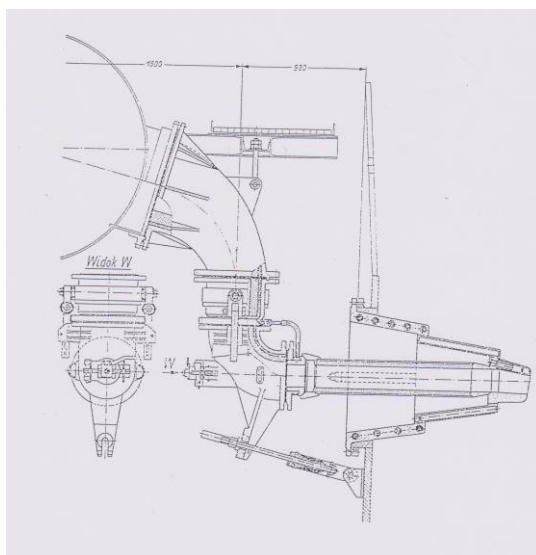
Objem zdiva v 1 m^3 : $0,64 - 0,59\text{m}^3$

Podíl výhřevní plochy OV bývá $55 - 98\text{ m}^2$ na 1 m^3 užitečného objemu VP

nebo $1600- 2820\text{ m}^2$ na 1 m^2 nístěje

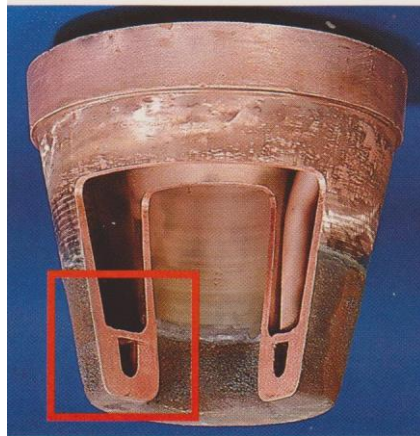
nebo $500 - 815\text{ m}^2$ na 1000 m^3 dmýchaného větru

Z ohřívačů větru se vysokopecní vítr vede vyzděným potrubím do okružního větrovodu okolo rozporu vysoké pece. Regulační armatury musí být chlazeny. Z okružního větrovodu se plyn vede odbočkou ke každé výfučně. Dmyšná souprava je zobrazena na obr. 14.



Obr.14 Dmyšná aparatura s pružným upevněním na plášti

Do pece je zasunuta hlavní výfučna vyrobená z mědi a intenzivně chlazená. Následuje ochranná výfučna a chladicí skříň. Do výfučny je vítr přiváděn dmyšní trubicí (píšťala),



Obr.17 Fotografie řezu výfučny

4.4 Injektování náhradních paliv do nístěje

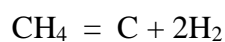
Vysokopeční koks se stává na celém světě stále dražším a deficitnějším palivem, neboť výroba surového železa neklesá a zásoby koksovatelných druhů uhlí se rychle zmenšují. Jednou z cest vedoucích ke snížení měrné spotřeby koksu je injektování náhradních paliv do nístěje vysokých pecí společně s dmýchaným větrem.

Patří sem především: - zemní plyn

- koksárenský plyn
- těžké oleje
- uhelný prach

Zemní plyn

Zemní plyn je tradičním náhradním palivem používaným již od poloviny minulého století. Do metalurgického závodu se dopravuje pod vysokým tlakem, který stačí zredukovat na potřebnou hodnotu pro injektáž do nístěje vysoké pece. Zemní plyn je bez nečistot nejsou s ním žádné manipulační problémy. Má největší chladicí účinek a umožňuje vysoké obohacování větru kyslíkem. Jedinou nevýhodou je jeho vysoká cena. V první fázi se ve vysoké peci rozkládá a endotermický efekt tohoto rozkladu je základem jeho chladicího účinku.



Ve druhé fázi je vznikající uhlík oxidován kyslíkem na CO. Tato reakce je exotermická, stejně jako hoření uhlíku koksu. Ke snížení teploty v oxidačních prostorech přispívá i

skutečnost, že zemní plyn se injektuje při teplotě okolí, zatímco koks přichází do oxidačních prostorů přehřátý asi na 1500 °C . Tento princip platí pro všechny uhlovodíková paliva.

Koksárenský plyn

Protože vysokopeční závod obvykle zahrnuje i koksovnu, nabízí se jeho použití pro injektáž do vysokých pecí. V praxi se však používá jen ojediněle z následujících důvodů :

- Koksárenský plyn má nízký tlak a pro jeho využití ve vysoké peci se musí stavět kompresní stanice
- Hlavní výhřevnou složkou koksárenského plynu je vodík. Protože při jeho injektáži nedochází k disociaci, nemá chladicí účinek a neumožňuje vysoké obohacení větru kyslíkem a tím intenzifikaci výroby.
- I přes jeho čištění obsahuje kondenzované uhlovodíky (naftalen), která ucpávají rozvodné armatury.

Těžké oleje

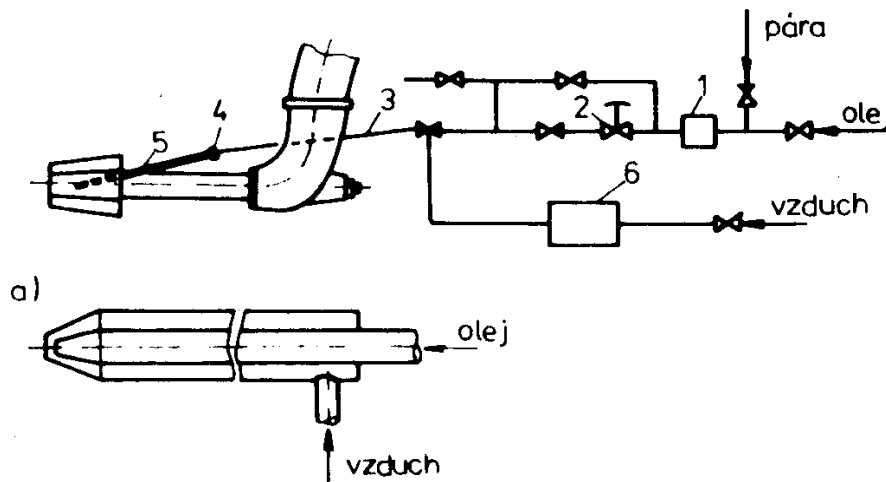
První úspěšné provozní pokusy, při kterých bylo použito mazutu jako náhrada vysokopečního koksu, se uskutečnily již 50-tých letech minulého století. V současné době se od této technologie odchází, neboť světová cena ropy, s níž se tyto těžké oleje získávají, značně vzrostla.

Těžké oleje jako směsi těžkých uhlovodíků vyžadují ke své pyrolýze na uhlík a vodík pouze asi třetinu tepla ve srovnání se zemním plynem a proto jejich injektáž do nístěže vysokých pecí je spojeno s menším snížením teoretické teploty v oxidačních prostorech. Také vzrůst množství plynných zplodin připadající na hmotnostní jednotku oleje při jeho nedokonalém hoření je menší než při hoření zemního plynu a tomu odpovídající i menší nároky na zvýšení teploty dmýchaného větru nebo na stupeň jeho obohacení kyslíkem. Přitom na každé procento přídavného kyslíku vzrůstá výrobnost pece o 2,3 – 5,6 % a měrná spotřeba koksu klesá. Tento pokles spotřeby koksu však podobně jako při injektování zemního plynu souvisí především s nahrazováním koksu olejem. Součinitel záměny koksu těžkými oleji kolísá v širokých mezích od 0,9 do 1,5 kg.kg⁻¹ a výrazně klesá se stoupajícím množstvím injektovaného oleje.

Při malých spotřebách oleje asi do 30 kg t⁻¹ surového železa se pro vyrovnání teploty hoření obvykle vystačuje s vyloučením vlhčení dmýchaného větru a se zvýšením jeho teploty. Při spotřebách 45 až 65 kg t⁻¹ je nutno obohatit vítr na 22 až 23,5 % O₂. Každé další zvýšení měrné spotřeby olejů vyžaduje vyšší koncentraci kyslíku v dmýchaném větru a např. při

injektování 100 kg oleje na 1 t surového železa je obohacení větru na méně než 26 obj. % O₂ nedostatečné. Při těchto vysokých měrných spotřebách oleje vznikají kromě toho značné technologické obtíže v práci vysokých pecí tím, že se všechen olej nestačí zplynit v oxidačních prostorech a tvoří se saze, které narušují plynulý chod vysoké pece a ztěžují čištění sazebního plynu. Vzniku sazí se v tomto případě předchází používáním tzv. emulgátorů oleje, které přispívají k jemnému rozptýlení olejového proudu po jeho výstupu z trysek.

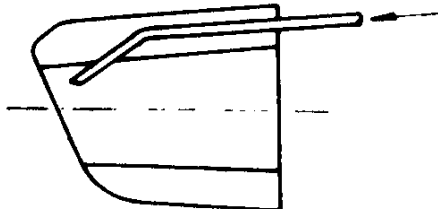
Do závodu bývá olej dopravován v tancích a k vysokým pecím zvláštním potrubím a čerpadly. Aby se udržela dostatečně nízká viskozita oleje, tanky jsou ohřívány párou na 70 až 80 °C a u výtoku oleje jsou instalovány ještě elektrické ohříváče, které zvyšují teplotu dopravovaného oleje na 10 až 130 °C. Před vstupem do okružního olejového potrubí u vysoké pece je olej filtrován a pak rozváděn k jednotlivým výfučným odbočkami opatřenými regulačními ventily. Vlastní trysky bývají zhotoveny z korozi-vzdorné oceli a obvykle pracují na injekčním principu. Stlačený vzduch slouží jednak k injektování oleje a jednak k jeho jemnému rozptýlení. Současně také zabraňuje ucpání trysek. K čištění celého systému slouží vodní pára. Schéma zařízení k injektování olejů přináší obr. 18.



Obr 18.: Celkové schéma zařízení k injektování olejů do nístěje

- 1 - průtokoměr, 2 - regulační ventil, 3 - ohebná měděná hadice s ocelovým pláštěm,
- 4 - rychlovýměnná příruba, 5 - tryska, 6 - vzduchový zásobník (0,5 – 0,6 MPa)
- a – detail trysky

Jednotlivá provedení se však mohou vzájemně značně lišit. Trysky směřují obvykle šikmo dolů, aby se dosáhlo co nejdělsí dráhy olejových kapek v oxidačních prostorech. Proto se často používá i výfučen se skloněným čelem, viz. obr. 19.



Obr 19.: Výfučna se skloněným čelem a olejovou tryškou

V mnohých závodech jsou vysoké pece vybaveny zařízením k injektování jak zemního plynu, tak i těžkých olejů, což umožňuje pružně reagovat na nabídku jednotlivých druhů přídavných paliv v různých ročních obdobích. Přestože těžké oleje obsahují obvykle značná množství síry (některé druhy až 3,5 %), obsah síry v surovém železe se obvykle nezvyšuje. To lze vysvětlit plynulejším chodem vysoké pece a v důsledku toho i možností udržovat vyšší zásaditost strusky.

V současnosti se část těžkých olejů nahrazuje dehtem. Používá se buď černouhelný dehet z koksovny, do kterého se mohou přidávat znečištěná rozpouštědla, vyjeté oleje apod., nebo se používá hnědouhelného dehtu, vznikajícího při zplyňování hnědého uhlí. Zatímco černouhelný dehet se musí před injektáží ohřívat, hnědouhelný dehet má vyhovující viskozitu i při normální teplotě. Hnědouhelný dehet se však nesmí míchat s černouhelným, ani s oleji, (ani doprava stejným potrubím), protože vznikají asfaltény, které znemožní jeho dopravu (ucpání trubek). Při dopravě se nesmí hnědouhelný dehet dostat do kontaktu s gumovými, ani bronzovými součástkami což vyžaduje speciální konstrukci čerpadel.

Uhelný prach

Vlivem deficitu těžkých olejů a zejména vlivem vzrůstu jejich ceny se v poslední době soustřeďuje zájem o nahrazování části metalurgického koksu uhelným prachem injektovaným do nístěje vysokých pecí podobně jako u plyných nebo kapalných paliv.

Velkou předností injektování uhelného prachu do nístěje vysokých pecí ve srovnání s jinými náhradními palivy je jeho nízká cena. V důsledku nevyhnutelné disociace uhlovodíků obsažených v uhlí a chybějícího tepla přehřátí nahrazované části metalurgického koksu klesá rovněž teplota hoření v nístěji, avšak méně výrazně, neboť toto disociační teplo je malé.

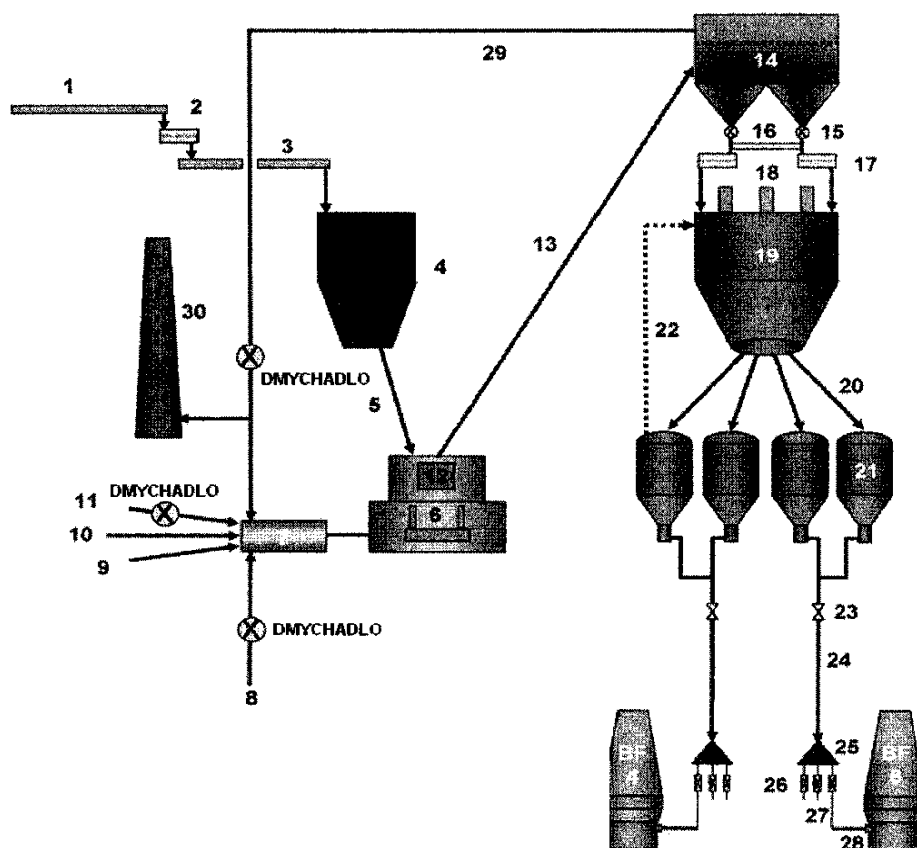
Tepelný efekt hoření uhelného prachu v oxidačních prostorech vysoké pece a tím i součinitel nahrazení koksu záleží především na obsahu uhlíku v injektovaném uhlí a může být proto velmi rozdílný. Při injektování černých druhů uhlí s vysokým podílem neprchavého uhlíku se dosahuje součinitele záměny koksu kolem 1 kg kg^{-1} , u hnědých druhů uhlí $0,45$ až $0,55 \text{ kg kg}^{-1}$.

Protože uhlí na rozdíl od plynných a kapalných paliv obsahuje málo vodíku, jeho vliv na redukční práci plynné fáze je omezený. Nepříznivě působí také vyšší obsah popela v uhlí, neboť vzrůstá měrné množství strusky a nelze zanedbat ani nepříznivý vliv zvýšeného obsahu síry na jakost surového železa. Proto se k tomuto účelu obvykle vybírají nekoksovatelné druhy uhlí s nízkými obsahy popela a síry.

U všech systémů pro injektování uhelného prachu do nístěje se věnuje velká pozornost jemnému mletí uhlí a rovnoměrnosti jeho dopravy do jednotlivých oxidačních prostorů vysoké pece v závislosti na množství dmýchaného větru. Optimální zrnitost uhlí je menší než $0,1 \text{ mm}$, a protože se jeho doprava uskutečňuje pneumaticky, je důležitý také nízký obsah vlhkosti (obvykle $<4 \%$).

Složitost zařízení k injektování uhelného prachu spočívá nejen na nutnosti sušení a jemného mletí uhlí, ale i nutnost dopravovat mleté uhlí pomocí inertního plynu. Použití dusíku je zcela bezpečné, avšak poněkud se snižuje redukční schopnost vysokopecních plynů. Při injektáži černého uhlí a zejména koksového prachu značně trpí dopravní potrubí, které je třeba po relativně krátké době (asi 1 rok) měnit. Při injektování hnědého uhlí se tyto obtíže zmírňují.

V současnosti se dosahuje injektáže až 200 kg uhlí na tunu vyrobeného surového železa. Celkové průtočné množství prachového uhlí, injektovaného do vysoké pece, by mělo být rovnoměrně rozdělováno do jednotlivých injektážních potrubí a injektážních trysek pomocí separátoru (rozdělovače). Musí být dosaženo rovnoměrného rozdělení celkového průtočného množství prachového uhlí na každou výfučnu. Do výfučen se uhlí dopravuje pomocí jedné, nebo dvou trubek.



Obr 20.: Schéma zařízení pro injektování prachového uhlí

1 – dopravník pro přísun surového uhlí, 2 – příprava surového uhlí, 3 – dopravník surového uhlí, 4 – zásobník surového uhlí, 5 – žlabový řetězový dopravník do mlýna, 6 – mlýn (drtič), 7 – generátor plynu pro sušení, 8 – spaliny z ohřivačů větru, 9 – vysokopecní plyn, 10 – vysoce výhřevný topný plyn, 11 - spalovací vzduch, 12 – dynamický třídič, 13 – dopravní potrubí prachového uhlí, 14 – látkový filtr pro prachové uhlí, 15 – rotační šoupátka (ventily), 16 – spojovací šnekový dopravník, 17 – třídiče prachového uhlí, 18 – odvodušňovací filtr, 19 – zásobník prachového uhlí, 20 – přísun prachového uhlí do dopravních zásobníků, 21 – dopravní zásobníky, 22 – odvodušňování a odtlakování zásobníků, 23 – in-line měření a regulace, 24 – dopravní potrubí pro uhlí, 25 – Statický separátor/rozdělovač, 26 – potrubí k jednotlivým výfučnám, 27 – jednotlivá injektážní potrubí, 28 – injektážní trysky ve výfučnách, 29 – recyklace plynu pro sušení, 30 – komín pro odvod spalin.

Obohacování vysokopecního větru kyslíkem

Atmosférický vzduch stlačovaný dmýchadly obsahuje asi 20,85 obj. % kyslíku. Zvyšováním koncentrace kyslíku v dmýchaném větru klesá podíl přiváděného dusíku, takže teplota i rychlost hoření vzrůstají. Protože se zmenšuje objem plynu, klesá hodnota jeho kinetické energie, avšak tento pokles může být do určité míry omezován zvýšením teploty v oxidační oblasti. Toto zvýšení teploty je však poměrně malé, neboť při menším množství plynu se zlepšují podmínky pro přestup tepla a většinu nadbytečného tepla pohltí surové železo a

struska. Jestliže se tedy současně s obohacováním větru kyslíkem zvětší i množství dmýchaného větru, oxidační oblasti mohou zůstat nezměněné, popř. se mohou i zvětšit.

Při obohacování větru kyslíkem se obecně zvyšuje výrobnost vysoké pece, neboť se zmenšuje množství plynu vztažené na jednotku výroby. Protože však současně výrazně roste teplota v oxidačních prostorách, musí být zabezpečena dodatečná spotřeba tepla v nístěji, aby byl vzrůst teploty kompenzován. Této podmínce vyhovuje vysoký stupeň přímé redukce např. při výrobě slévárenského surového železa a zejména feromanganu a ferosilicia, nebo injektování uhlovodíkových paliv, které spotřebují na svou disociaci velké množství tepla. Vlhčení větru by rovněž splnilo tuto úlohu, avšak za cenu zvýšené měrné spotřeby koksu.

Při výrobě ocelárenských druhů surového železa bez injektování uhlovodíkových paliv lze vítr obohacovat na max. 22–23 obj. % O₂. Při vyšších koncentracích kyslíku dochází k zavěšování vsázky a k zhoršení chodu vysoké pece. Pravděpodobnou příčinou je zvětšení podílu zplyněného a zkondenzovaného monoxidu křemíku a také zmenšení oxidačních oblastí. Tento nepříznivý účinek lze zmírnit a případně i odstranit nejen dokonalou úpravou vsázky a používáním hodnotného koksu, nýbrž i každým opatřením, které vede k snížení teploty v oxidačních oblastech např. vlhčením dmýchaného větru, dmýháním náhradních paliv, vápence, prachových rud a také zvětšením zásaditosti strusky a zhoršením její tavitelnosti (zvětšením obsahu Al₂O₃). Při výrobě slévárenského železa lze pracovat asi s 27 obj. % kyslíku ve větru, kdy jsou zvýšené náklady na výrobu kyslíku ještě kompenzovány docilovanými úsporami u vysokých pecí. Obohacování větru kyslíkem při výrobě vysokopecních feroslitin bývá ve většině případu ekonomické i při značně vysokých koncentracích kyslíku. Je tomu tak proto, že jednak se nadbytek tepla v nístěji spotřebovává na přímou redukci těžko-redukovatelných prvků a jednak klesají tepelné ztráty výrazným snížením teploty sazebního plynu. Svůj podíl na zvýšené výrobnosti pece má i zmenšené množství plynu na jednotku výroby při relativně vysoké prodyšnosti vsázkového sloupce vlivem velkého poměru koksu/ruda.

Protože použitím kyslíku se zmenšují oxidační oblasti, vytvářejí se podmínky pro intenzivnější proudění plynů obvodovou částí pece. Proto je nezbytné vhodně upravit způsob plnění pece.

Zcela jiné jsou poměry při injektování uhlovodíkových paliv (zemního plynu, těžkých olejů apod.) do nístěje, kdy je obohacování větru kyslíkem prospěšné a při vysokých podílech těchto paliv dokonce nezbytné.

Pro vysokopecní účely se obvykle nevyrábí kyslík o vysoké čistotě, neboť se míchá se vzduchem. Postačuje 75–80 %-ni kyslík, který je výrobně levnější.

Zvýšením obsahu kyslíku ve foukaném větru dochází k:

1. Vzrůstá index intenzity, aniž by se zvětšovala tlaková ztráta plynu.
2. Vzrůstá teoretická teplota hoření v oblasti výfučen.
3. Zmenšuje se množství tepla přinesené horkým plynem.
4. Snižuje se teplota plynu v šachtě a v sazebně.
5. V souvislosti se zmenšením množství plynu klesají tepelné ztráty.
6. Mění se stupeň přímé redukce. Může se zmenšit, jestliže index intenzity se nezmění, avšak v opačném případě (při vzrůstu indexu intenzity) může stupeň přímé redukce vzrůst vlivem zkrácení průtavné doby.

Teoretická teplota hoření

Největší teplota plynu v oxidačním prostoru, která dosahuje 1900 – 2200 °C se nachází v místech kde je nejvyšší koncentrace CO₂, což je důsledkem složení a teplotou větru. Naopak nejnižší teplota plynu je v místech, kde mizí CO₂, je to zpravidla na hranici oxidačního prostoru, což je důsledkem endotermické Boudouardovy reakce.

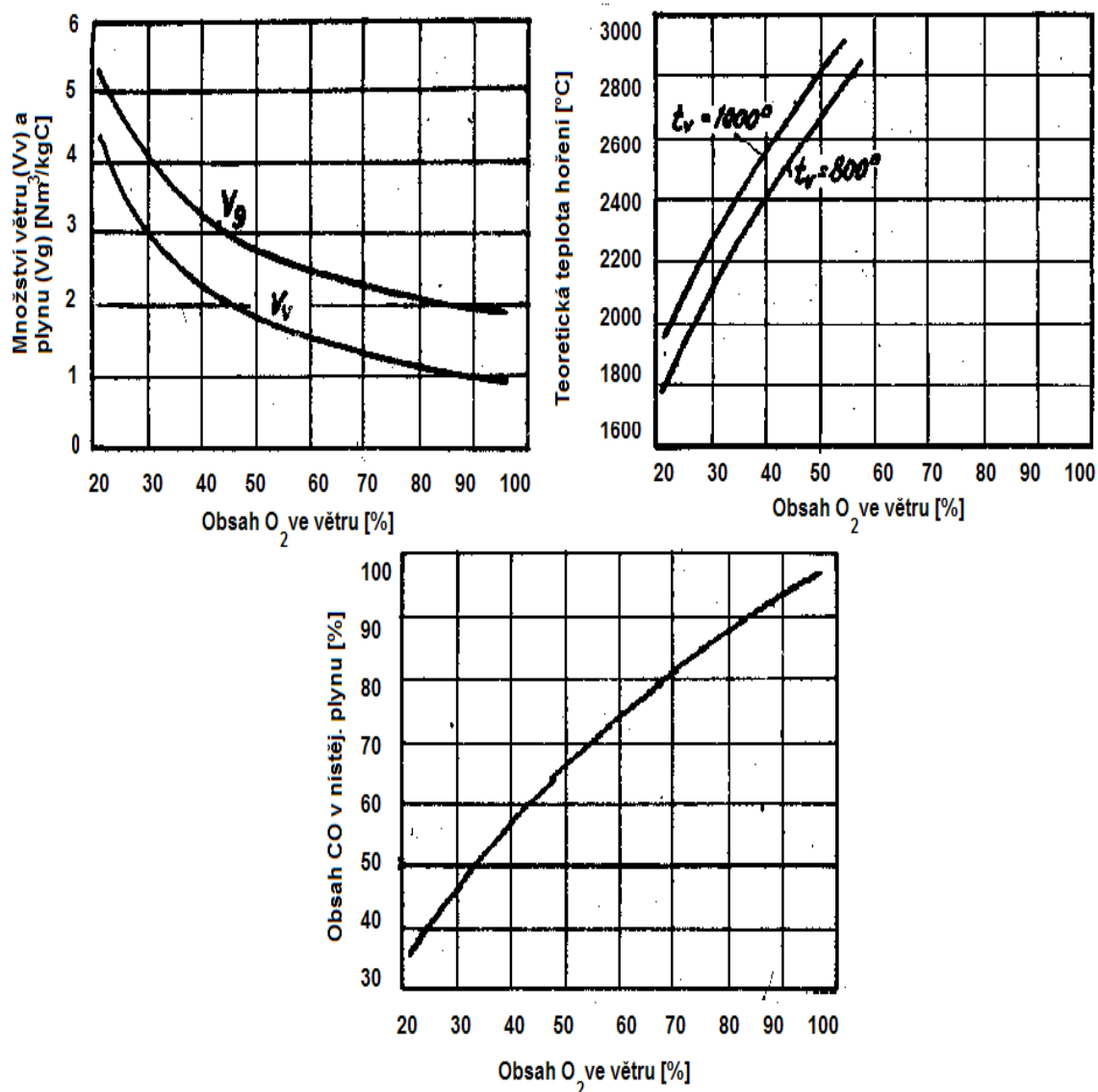
Teoretická teplota na hranici oxidačního prostoru se dá vyjádřit jako:

$$t_{teor.} = \frac{Q_{CK} + Q_{EK} + Q_{EV} + Q_{EH_2O} + Q_{NP} + Q_{ENP} - Q_{DNP} - Q_{DH_2O}}{V_{N_2} * cp_{N_2} + V_{CO} * cp_{CO} + V_{H_2} * cp_{H_2}} \quad [^{\circ}C]$$

kde Q _{CK}	– teplo nedokonalého hoření uhlíku koksu [kJ.kg ⁻¹]
Q _{EK}	– entalpie uhlíku koksu [kJ.kg ⁻¹]
Q _{EV}	– entalpie dmýchaného větru [kJ.kg ⁻¹]
Q _{EH₂O}	– entalpie páry [kJ.kg ⁻¹]
Q _{NP}	– teplo přivedené náhradními palivy [kJ.kg ⁻¹]
Q _{ENP}	– entalpie náhradních paliv [kJ.kg ⁻¹]
Q _{DNP}	– disociační teplo náhradních paliv [kJ.kg ⁻¹]
Q _{DH₂O}	– disociační teplo vlhkosti větru [kJ.kg ⁻¹]
V _{N₂} , V _{CO} , V _{H₂}	– objemová množství vodíku, CO a dusíku ve zplodinách [m ³ . kg ⁻¹]

C_{pH_2} , C_{pCO} , C_{pN_2} – střední měrná tepla vodíku, CO a dusíku [$\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$]

Změny některých parametrů pochodu hoření při obohacení větru kyslíkem přináší obr. 21,



Obr 21. Změny některých parametrů pochodu hoření při obohacení větru kyslíkem.

Z uvedeného vzorce vyčteme, že teplota v oxidačním prostoru vzrůstá s výhřevností paliva, se stupněm předeřtání koxsu, dmýchanáho větru a náhradních paliv. Naopak se zvýšenou hodnotou vlhkosti větru, disociačního tepla náhradních paliv a nárůstem plynných zplodin teoretická teplota klesá.

Během průchodu koxsu vysokou peci se on ohřívá na teplotu blízkou 1500°C , při středním měrném teple koxsu asi $1,67 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ je hodnota Q_{CK} 2345 až $2512 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Disociační teplo vodní páry je $10802 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-3}$. Z náhradních paliv má největší disociační teplo zemní plyn,

kolem $3182 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}$, kdežto těžké oleje spotřebují ke své disociaci 1465 až $1591 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Tato spotřeba vzrůstá se vzrůstajícím poměrem $\frac{H}{C}$ v palivu.

Řízení jakosti vyráběného surového železa

Jakost vyrobeného surového železa je možno definovat jeho chemickým složením a teplotou. Protože různé prvky se redukuje a rozpouštějí v surovém železe při různých teplotách, závisí jejich obsah v tavenině na teplotě v nístěji vysoké pece. Základná teplotně-tepelná úroveň v nístěji se dlouhodobě určuje složením vysokopecní vsázky, hlavně množstvím a kvalitou vysokopecního koksu. Operativnější je řízení teploty surového železa regulací teploty v oxidačních zónách vysoké pece. Protože dno a stěny nístěje jsou tepelně izolované a chlazené je možno teplotu surového železa a strusky řídit jen přívodem tepla z oxidačních prostorů přes vrstvu strusky. Výše uvedený vzorec pro výpočet teoretické teploty hoření umožňuje určovat zásahy pro zvyšování a snižování teploty před výfučnami a v nístěji. Řízením intenzity injektáže náhradních paliv a obohacování větru kyslíkem je možno efektivně řídit teplotu v nístěji. K řízení se využíván i regulaci teploty a vlhkosti větru.



Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy

- vysokopecní vítr, kombinovaný vítr, náhradní paliva;
- spalovací šachtice;
- mřížoví;
- horkovětrné šoupátko
- okružní větrovod, dmyšná souprava;
- injektáž náhradních paliv;
- koeficient náhrady koksu;
- obohacování větru kyslíkem;
- výpočet teoretické teplota hoření před výfučnami (TTH);
- jakost surového železa;



Otázky:

1. Jaké je složení vysokopecního větru?
2. Jaká je teplota vysokopecního větru v současnosti?
3. Jakou rychlostí se do pece fouká vysokopecní vítr?
4. Kolik ohřivačů větru se dnes používá?
5. Jaké typy ohřivačů větru znáte?
6. Porovnejte ohřivače větrů s vnitřní a vnější spalovací šachticí?
7. Z čeho se vyrábí výfučny?
8. Jak se kompenzují tepelné dilatace dmyšné soustavy proti plášti vysoké pece?
9. Proč uhlovodíkové náhradní paliva snižují TTH?
10. Proč obohacování větru kyslíkem zvyšuje TTH?
11. Jaké nevýhody má injektáž koksárenského plynu do nístěje ?
12. Jaké jsou výhoda injektáže prachového uhlí do nístěje vysoké pece?
13. Jaké jsou důsledky obohacování větru kyslíkem?
14. Jakým zásahem se zvýší obsah křemíku v surovém železe ?



Doporučena a použita literatura :

1. Brož, L.-Bilík,J.- Kret,J. :Vysokopecní výroba surového železa, VŠB –TU Ostrava,1985, 231 s.
2. Babich,A. a kol. : IRONMAKING, Aachen,2008, 402 s., ISBN 3-86130-997-1
3. KRÓL, L.: Konstrukcja i urzadzenia wielkiego pieca. Slask – Katowice, 480 s

5 ŘÍZENÍ PROTIPROUDU A VÝROBNOSTI VYSOKÉ PECE

Členění kapitoly:

- Základní podmínka chodu vysoké pece
- Vertikální síly působící na kusy vsázky ve vysoké peci
- Ztráta tlaku plynu v zrnité vrstvě
- Vliv složení a vlastnosti plynné fáze na ztrátu tlaku
- Vliv složení a vlastností vsázkových surovin na ztrátu tlaku plynu
- Možnosti řízení plynových proudů ve VP
- Vnější, vnitřní a normální chod VP
- Řízení výrobnosti vysoké pece
- Technologie vysokého tlaku a obohacování větru kyslíkem



Čas potřebný ke studiu: 60 minut



Cíl: Po prostudování této kapitoly

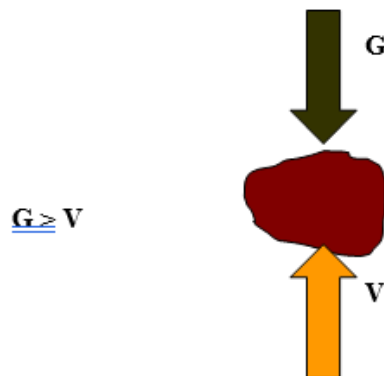
- pochopíte nutnost plynulého poklesu vsázky a proudění pecních plynů;
- seznámíte se silami působícími na jednotlivé kusy vsázky;
- seznámíte se základními charakteristikami proudění plynu zrnitou vrstvou;
- pochopíte vlivy vlastností a složení vsázky a plynu na ztrátu tlaku plynu;
- pochopíte, jaké jsou možnosti a metody řízení plynových proudů (poklesu vsázky) ve vysoké peci;

- budete vědět, jak se projevuje vnější a vnitřní chod VP;
- seznámíte se s principy řízení výrobnosti vysoké pece;
- seznámíte se s technologií vysokého tlaku a technologií obohacování větru kyslíkem;



Výklad

Práce vysoké pece je podmíněna neustálým poklesem vysokopecní vsázky a neustálým prouděním redukčních plynů v protisměru. To znamená, že síly působící na částice vsázky směrem dolů musí být větší než síly působící proti poklesu vsázky – kinetická energie plynu, třecí síly a nadnášivá síla koksu ponořeného do surového železa a strusky.



Obr. 22 Podmínka chodu vysoké pece

$$G = \rho_m \cdot g \cdot h$$

$$V = 0,5 \cdot \rho_g \cdot w_g^2 + T + A$$

ρ_m - hustota zrn vsázky

w_g – rychlost plynu

ρ_g – hustota plynu

T – třecí síly

g – gravitační zrychlení

A – vztlková síla od koksu ponořeného do strusky

h – vzdálenost od hladiny zásypu

a surového železa

5.1 Řízení protiproudu vysoké pece

Rozhodující úlohu má kinetická energie plynu, tj. rychlost proudících redukčních plynů. Schopnost zrnité vsázky propouštět plynnou fází se hodnotí její prodyšností. Protože prodyšnost vsázky ve vysoké peci není možno kontinuálně, s dostatečnou přesností sledovat, nahrazuje se tento parametr hodnotou ztráty tlaku plynu v určité výšce.

Ztráta tlaku plynu v zrnité vrstvě se obvykle počítá pomocí tzv. Ergunova vzorce :

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\Delta h}{d \cdot \Phi} \cdot \frac{\rho_0 \cdot w_0^2}{2} \cdot \frac{T}{T_0} \cdot \frac{P_0}{P}$$

kde ΔP je ztráta tlaku plynu v zrnité vrstvě (Pa)

ξ – součinitel aerodynamického odporu (1)

ε – mezerovitost vrstvy ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)

Δh – výška hodnoceného sloupce (m)

d – střední lineární rozměr zrn (m)

Φ – součinitel tvaru zrn (1)

ρ_0 – hustota plynu ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

w_0^2 – rychlost proudění plynu ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

T – skutečná teplota plynu (K)

T_0 – standardní teplota plynu (K)

P – skutečný tlak (Pa)

P_0 – standardní tlak (Pa)

Abychom dospěli k výpočtu ztráty tlaku v zrnité vrstvě, potřebujeme znát hodnoty výše uvedených veličin, případně je dopočítat z dostupných hodnot.

Protože v různých vzdálenostech od osy vysoké pece je různé granulometrické složení vsázky (podíl koksu a rudy) je tam různá mezerovitost tím různá rychlost proudění pecních redukčních plynů. Důsledkem je i různá rychlost klesání pevné vsázky v různé vzdálenosti v radiálním směru. Vsázka tedy klesá ve vysoké peci v radiálním směru nerovnoměrně. Z technologického hlediska tato nerovnoměrnost má být účelová má být řízena.

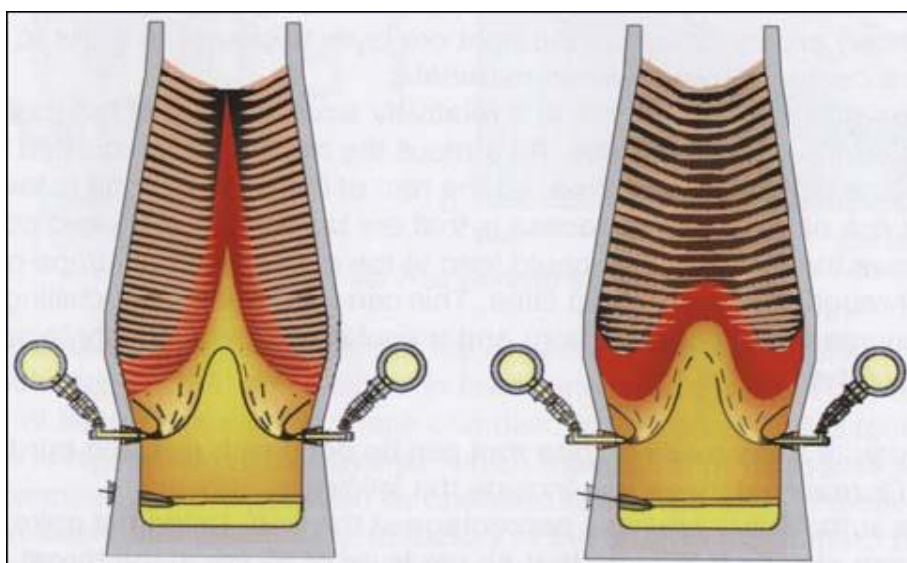
Podle této nerovnoměrnosti rozeznáváme tři typy „chodu“ vysoké pece:

- Vnitřní (centrální) chod vysoké pece je takový chod, při kterém plyn proudí a vsázka klesá hlavně v ose pece. U stěn pece je pokles vsázky pomalý.
- Vnější (periferní) chod vysoké pece je takový chod pece, při kterém plyn proudí a vsázka klesá hlavně u stěn pece a jen málo v centrální oblasti pece.
- Pravidelný chod vysoké pece je kompromisem mezi vedenými chody pece, rozdělení plynových proudů je účelově rozděleno v radiálním průřezu pece.

Rozložení plynových proudů nevysoké peci předpokládá znalost jejich rozložení. Na sazebně vysoké pece (nad vsázkou) se měří teplota a složení plynu v ose pece a v jednotlivých oktantech po obvodě (u stěny pece).

Nístějový plyn opouštějící oxidační prostory má vysokou teplotu (až 2000°C) a obsahuje uhlík ve formě CO. V místech, kde plyn proudí rychle, se nestihne ochladit a CO se nestihne redukcí změnit na CO₂. U periferního chodu bude na sazebně u stěny vysoká teplota plynu a nízký obsah CO₂. U centrálního chodu naopak, bude vysoká teplota a nízký obsah CO₂ v osově části pec (obr 24).

Plynové proudy řídíme většinou shora (sypaním) Do míst, kde chceme proudění plynu podpořit, sypeme prodyšnou vsázku (koks). Do míst kde chceme proudění potlačit sypeme drobnější neprodyšnou vsázku (rudnou část). K řídicím parametrům patří i velikost vsázky, pořadí jednotlivých složek vsázky apod. Podstatně lepší podmínky pro řízení plynových proudů ve vysoké peci poskytuje bezzvonová sazebna než sazebna zvonová. Plynové proudy se dají řídit i zdola pomocí parametrů vysokopecního větru.



Obr.23 : Centrální (středový) a periferní (obvodový) chod vysoké pece

5.2 Řízení výrobnosti vysoké pece

Podmínkou chodu vysoké pece je neustálý pokles vsázky a proudění redukčních plynů. Čím rychleji bude vsázka klesat, tím vyšší bude výrobnost vysoké pece.

Základní metodou zvýšení výrobnosti pece je zvýšení množství foukaného větru. Zvýšeným množstvím větru spálíme více koksu, vyrobíme více tepla, více redukčního plynu a spálením většího množství koksu se uvolní více prostoru pro sestup vsázky. Dalším zvyšováním množství dmýchaného větru se rychlost zvyšování výrobnosti snižuje, až může dojít k zastavení vsázky. Se zvyšováním množství větru se zvyšuje rychlost jeho proudění což podle obr. 22 zvyšuje sílu, která působí proti poklesu vsázky. Pro další růst výrobnosti je potřebné snížit rychlost proudění plynu vsázkou. Všechny opatření vedoucí ke snížení rychlosti proudícího plynu vedou ke zvýšení výrobnosti.

V praxi se využívají dvě základní metody ke zvýšení výrobnosti :

1. Metoda vysokého tlaku na sazebně

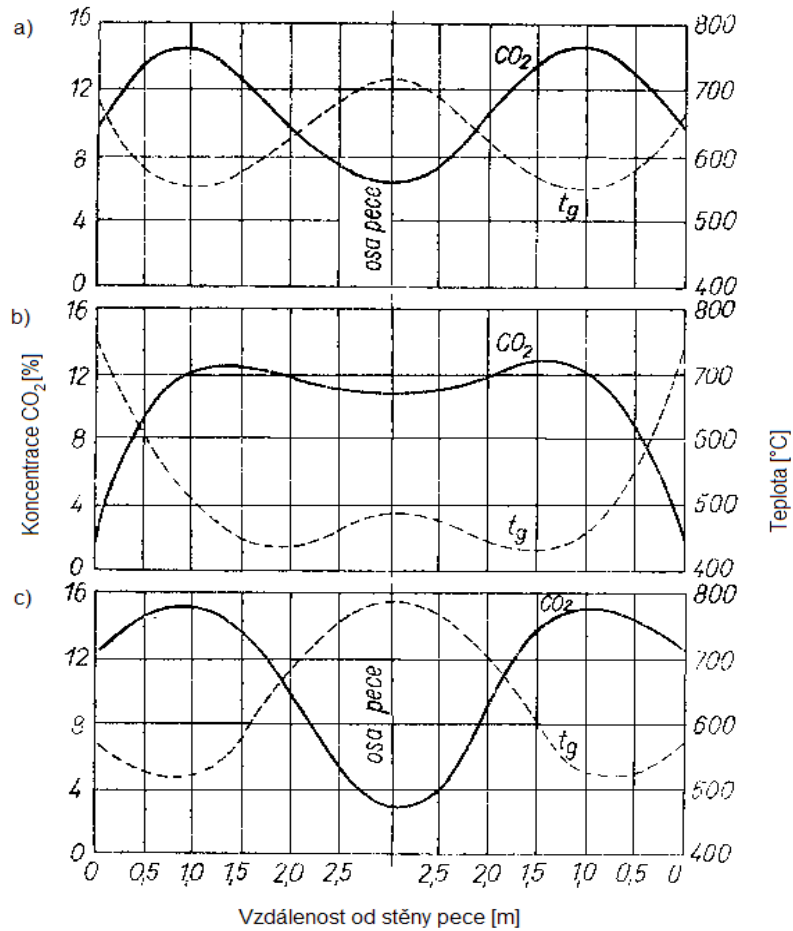
Metoda je založena na seškrcení odvodu plynu na výstupu z vysoké pece pomocí škrťací soustavy tzv. expandérem. Dojde ke zvýšení tlaku plynu v šachtě vysoké pece, ke snížení jeho objemu a tím i ke snížení rychlosti proudění plynu v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, nebo v $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Rychlost v $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$, nebo v $\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ zůstává původní. Zvýší se hustota plynu. Snížení rychlosti plynu zmenší sílu působící proti poklesu vsázky a urychlí sestup vsázky.

2. Obohacování vysokopecního větru kyslíkem

Zvyšování obsahu kyslíku v dmýchaném větru, při stejném množství spáleného koksu snižuje podíl dusíku ve větru i v redukčním plynu, v důsledku čeho se snižuje objem plynu a tím i rychlost jeho proudění. Důsledky jsou stejné jako u první metody.

Určitou možností zvýšení výrobnosti je i zvýšení hmotnosti vsázky, například záměnou aglomerátu peletami. Peleta obsahuje více železa (jsou těžší) a větší sypnou hustotu (ideální tvar zrna).

Určitou možností zvýšení výrobnosti je i zvýšení hmotnosti vsázky, například záměnou aglomerátu peletami. Peleta obsahuje více železa (jsou těžší) a větší sypnou hustotu (ideální tvar zrna). Křivky obsahu CO_2 a teploty přináší obr. 24.



Obr.24: Křivky obsahu CO₂ a teploty v radiálním směru vysoké pece

- a) při pravidelném chodu pece
- b) při vnějším chodu pece
- c) při vnitřním chodu pece



Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- prodyšnost sloupce vsázky ve VP;
- ztráta tlaku plynu v zrnité vrstvě;
- vnitřní chod vysoké pece;
- vnější chod vysoké pece;
- pravidelný chod vysoké pece;
- řízení protiproudu vsázky a plynu ve vysoké peci;
- zvyšování výrobnosti vysoké pece;

- **technologie vysokého tlaku na sazebně;**
- **technologie obohacování větru kyslíkem;**



Otázky:

1. Co je podmínkou poklesu vsázky ve vysoké peci?
2. Jaké síly působí na zrna vsázky směrem dolů?
3. Jaké síly působí na zrna vsázky směrem nahoru?
4. Co je to prodyšnost zrnité vrstvy?
5. Co je tlaková ztráta v zrnité vrstvě?
6. Jak ovlivňuje tlakovou ztrátu zrnitost vsázky a její mezerovitost?
7. Jak ovlivňuje tlakovou ztrátu druh proudění plynu (turbulence)?
8. Ovlivňuje prodyšnost vsázky tvar zrn ?
9. Proč uhlovodíková náhradní paliva snižují TTH?
10. Jaké metody se používají ke zvýšení výrobnosti vysoké pece?
11. V čem spočívá princip technologie vysokého tlaku na sazebně?
12. V čem spočívá technologie obohacování větru kyslíkem?
13. Co způsobí zvýšení množství foukaného větru s výrobností vysoké pece?



Doporučena a použita literatura :

1. Brož, L.-Bilík,J.- Kret,J. :Vysokopecní výroba surového železa, VŠB –TU Ostrava,1985, 231 s.
2. Geerdes,M., Toxopeus H., van der Vliet,C.: Výroba železa v moderních vysokých pecích, Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf, 2004, 118 s.
3. Babich,A. a kol.: IRONMAKING, Aachen,2008, 402 s., ISBN 3-86130-997-1

6 VYPOUŠTĚNÍ TEKUTÝCH PRODUKTŮ TAVBY A JEJICH ÚPRAVA

Členění kapitoly:

- Výpustě tekutých produktů tavby
- Odlévárna vysoké pece
- Zařízení odlévárny vysoké pece
- Vypouštění surového železa a strusky
- Doprava surového železa a strusky
- Licí stroj
- Granulace strusky
- Mimopecní odsiřování surového železa



Čas potřebný ke studiu: 60 minut



Cíl: Po prostudování této kapitoly

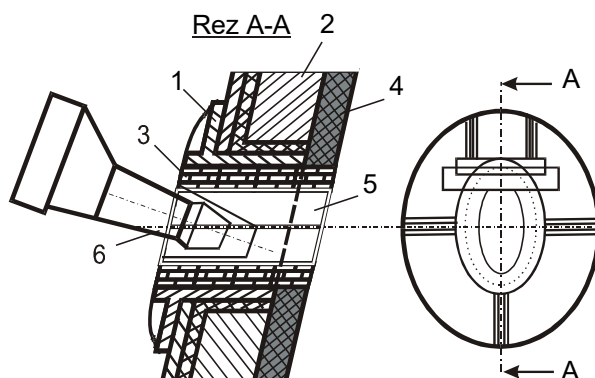
- Pochopíte cyklus vypouštění surového železa a strusky;
- Seznámíte se se zařízením odlévárny ;
- Seznámíte se s dopravou surového železa a strusky;
- Dozvíte se o způsobech zpracování vysokopecní strusky;
- Seznámíte se s technologií mimopecního odsiřování surového železa;



Výklad

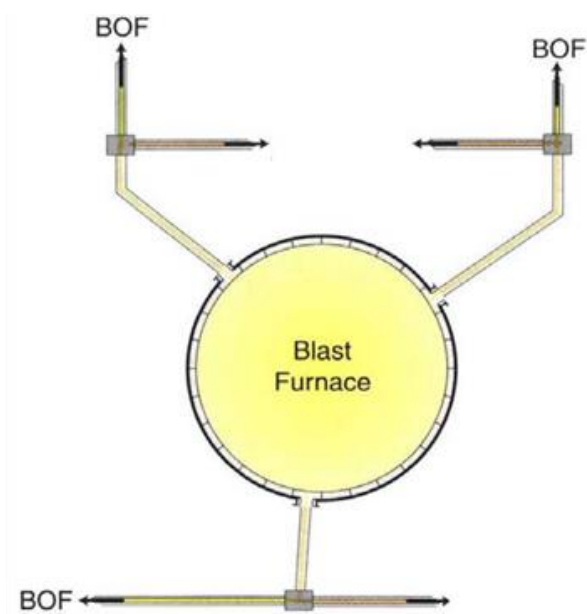
Počet výpustí surového železa je závislý především na velikosti vysoké pece a na intenzitě její práce. Při snížení měrného množství strusky na 300 až 350 kg \cdot t⁻¹ surového železa, ztrácí výpusti strusky svůj význam, neboť horní struska se prakticky nevypouští. Výpusti surového železa jsou situované ve spodní části nístějové stěny v podobě kanálů obdélníkového průřezu o šířce 250 až 300 mm a výšce 450 až 500 mm. Pecní plášť v oblasti výpusti surového železa

je zesílen ocelovým rámem a jeho vnitřní povrch se vyzdívá šamotem první jakosti. Takto vzniklý prostor, tzv. kaplička, může mít obdélníkový nebo oválný tvar a jeho poměrně velká výška umožňuje měnit polohu vlastního odpichového otvoru v odpichové ucpávací hmotě, která celý vnitřní prostor výpusti vyplňuje. Na rám pak navazují vertikální chladnice nístěje s vlastním chlazením. Konstrukce železové výpusti je na obr. 25.



Obr.25: Konstrukce odpichového otvoru

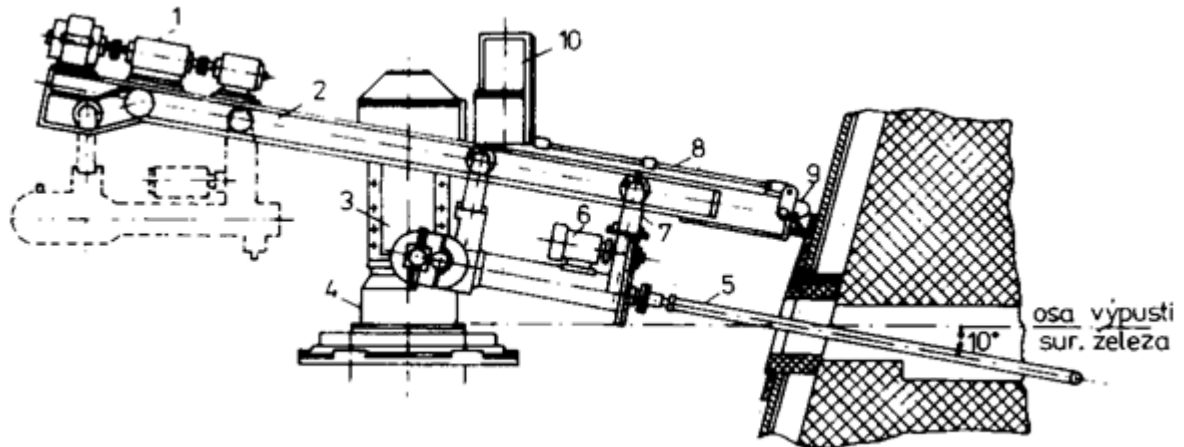
Odpichovým otvorem se surové železo a struska dostává ven z pece na odlévárnu. Uspořádání odlévárny závisí na místních dispozicích. Příklad odlévárny s třemi odpichovými otvory je uveden na obr. 26.



Obr. 26: Odlévárna vysoké pece s třemi odpichovými otvory

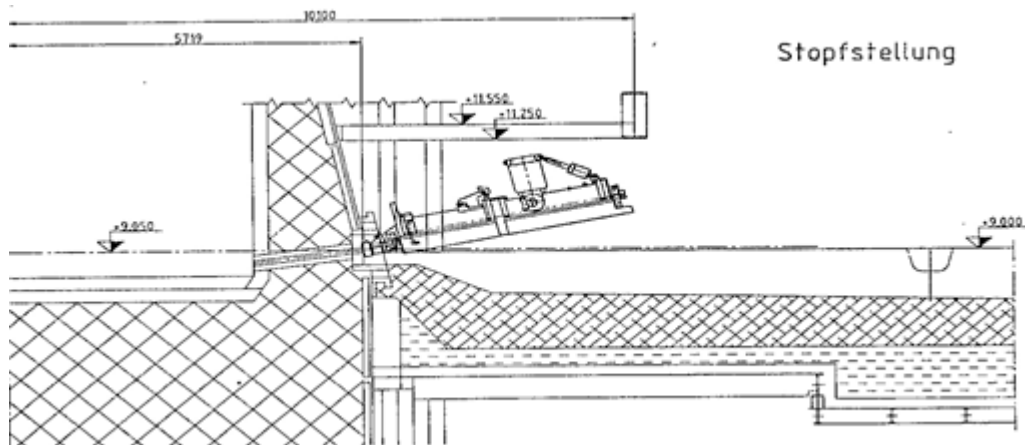
Vlastní odpich surového železa se provádí vrtáním, anebo probíjením za pomoci vrtacího stroje, který patří mezi zařízení odlévárny, viz. obr. 27. V současnosti se vypouští i

vysokopeční struska spolu se surovým železem a odlučuje se až na žlabu. Na obr. 28 je zobrazena ucpávačka, pomocí níž se po skončení odpichu, odpichový otvor uzavírá bezvodou ucpávací hmotou.



Obr. 27.: Příklepová vrtačka výpustí surového železa

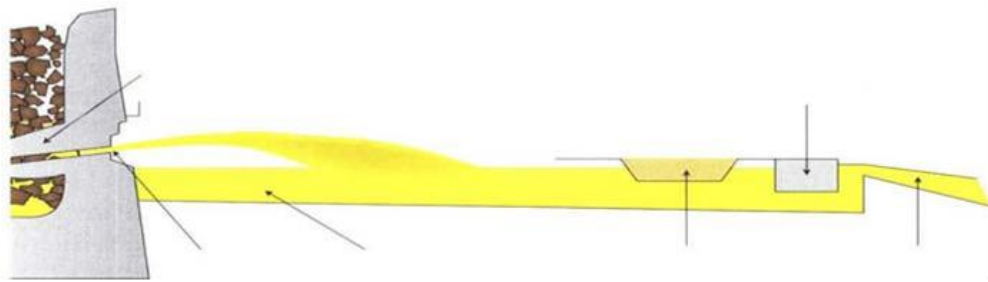
1 – pohon posuvu, 2 – vodítko, 3 – otočná konzola, 4 – pevná podpěra, 5 – vrták, 6 – pohon vrtáku, 7 – závěs vrtačky, 8 – táhlo, 9 – zámek, 10 – mechanismus otáčení stroje



Obr. 28 : Ucpávačka výpusti surového železa

Na obr. 29 je znázorněno schéma vypouštění surového železa a strusky.

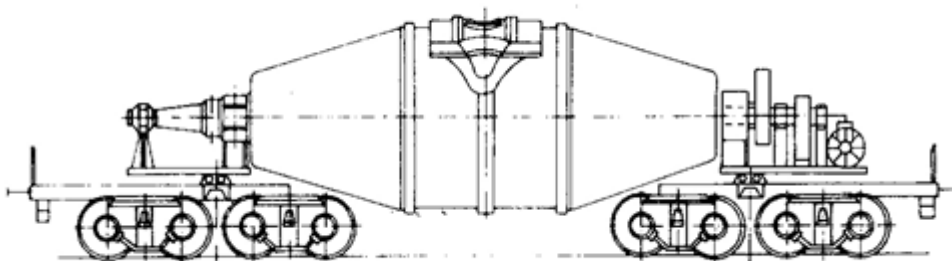
Odlučovač strusky



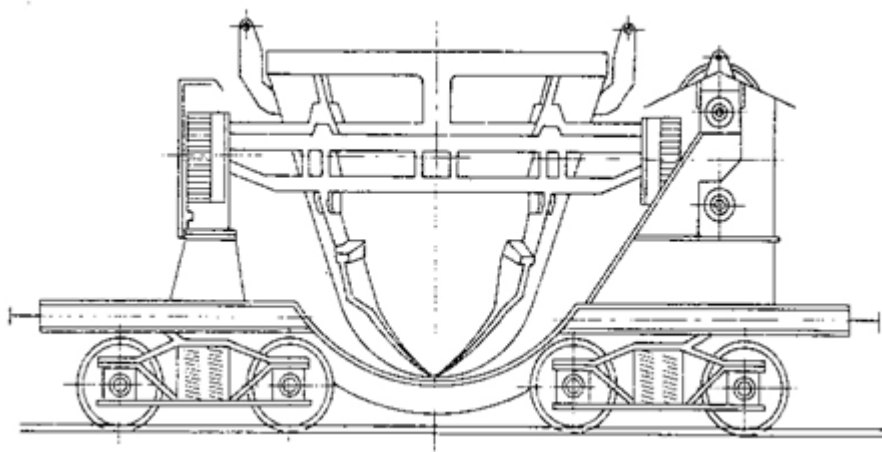
odpichový otvor žlab struskový žlab železový žlab

Obr. 29 : Schéma vypouštění surového železa a strusky

Pro dopravu surového železa k dalšímu zpracování se používá pojízdňích mísičů (obr. 30) a pro dopravu strusky tzv. koliby (sklopné struskové pánve), viz. obr. 31.

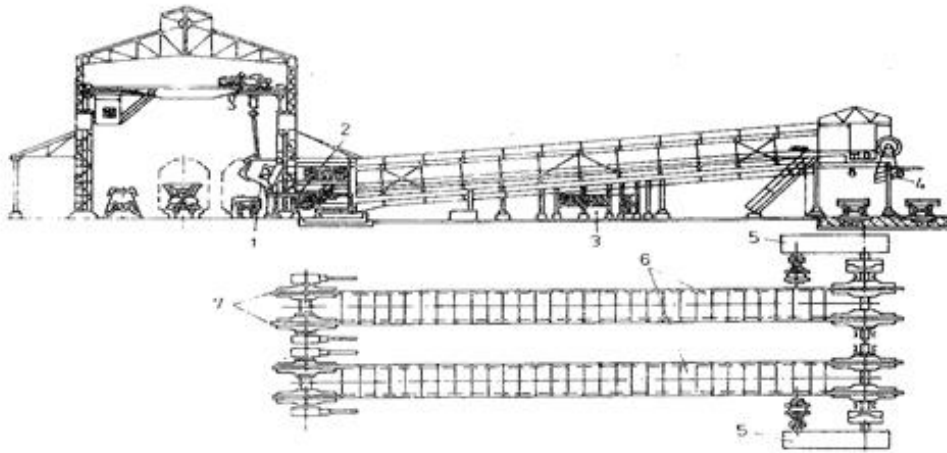


Obr. 30 : Pojízdňní mísič železa



Obr. 31 : Vůz na dopravu strusky (koliba)

V případě, že se surové železo ihned nevyužívá pro ocelárnu odlévá se do tzv. housek na licím stroji, viz. obr. 32.



Obr. 32 Schéma licího stroje

1 – pánev se surovým železem, 2 – licí žlab, 3 – pásový dopravník, 4 – plynové hořáky pro sušení kokil, 5 - zařízení pro rozstřík vápenného mléka do kokil, 6 – budova vápenné služby, 7 – licí vůz, 8 – vybíjecí nárazník, 9 - 12 napínání pásů s korýtky

Hmotnost jednoho slitku (housky) je 45-50 kg. Denní výkonnost odlévacího /licího stroje a cca 600 pánvičkami je 1800-2000 tun.

6.1 Zpracování vysokopecní strusky

Vysokopecní struska je vedlejším produktem výroby surového železa a v současnosti se celé její množství využívá hlavně v stavebnictví.

Největší podíl vysokopecní strusky se používá k výrobě cementu. Tato struska se zpracovává u vysokých pecí tzv. granulací. Pomocí vody dochází k prudkému ochlazení a rozprášení tekuté strusky. Pro výrobu cementu je potřebné, aby struska ztuhla amorfně, jako sklo, aby podle možnosti neměla krystalickou stavbu (minimálně 90 % amorfni struktura).

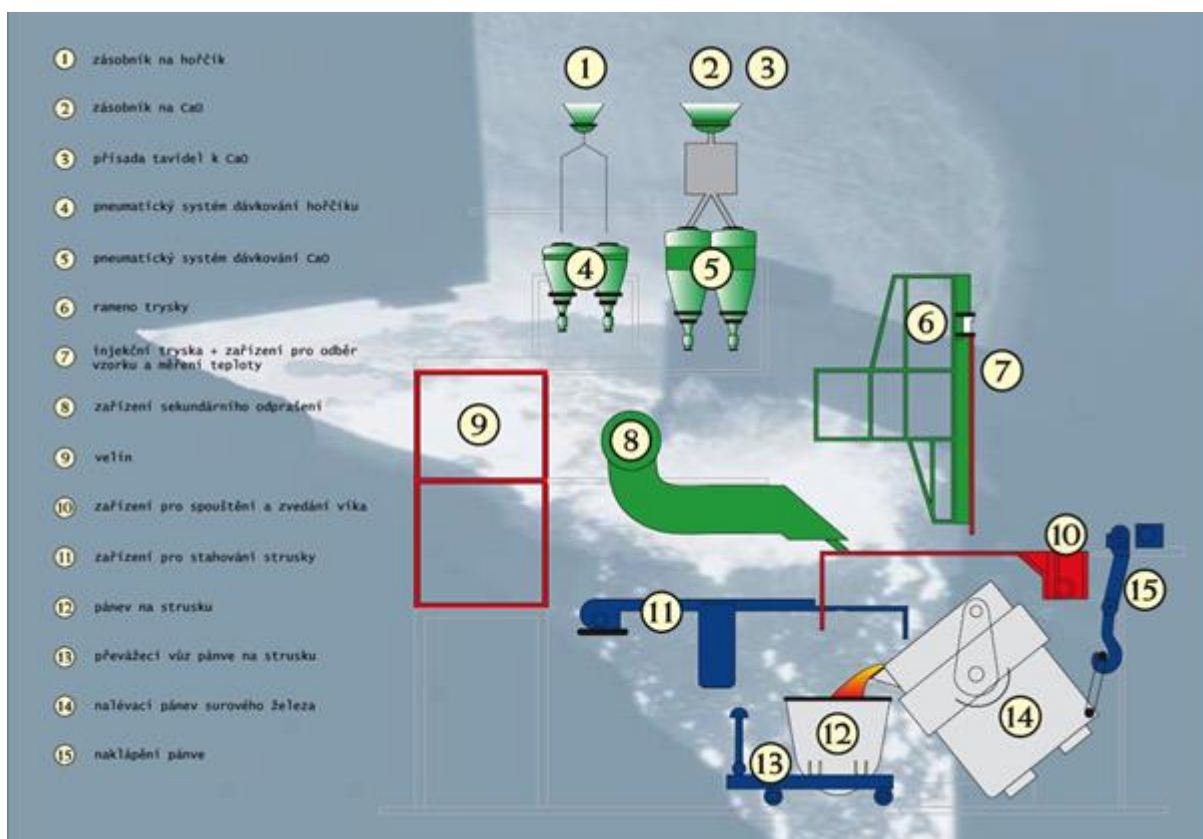
Naproti tomu struska, která bude využívána ve stavebnictví jako struskové kamenivo, by měla mít co nejdokonalejší krystalovou strukturu, aby měla dostatečnou pevnost. Struska se vylívá do struskových jam, kde se nechá pomalu krystalizovat. Struska by po krystalizaci neměla obsahovat minerál „larnit“ (dicalciumsilikát- $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), který při chladnutí ($500\text{-}600\text{ }^\circ\text{C}$) rekrystalizuje, při přeměně fáze β na γ zvyšuje jeho mřížka objem o 10 % a to způsobuje rozpad kusů strusky. Vysokopecní struska se používá k výrobě izolačních materiálů.

6.2 Mimopecní odsiřování surového železa

I když odsiřování ve vysoké peci je několikanásobně účinnější, než na ocelárně vyžaduje snižování obsahu síry zvyšovat teplotu surového železa a zásaditost strusky. To však vede k rastu měrné spotřeby koksu a ke zvyšování nákladů na výrobu surového železa. Při potřebě snížit síru v surovém železe pod 0,01 % se již obvykle oplácí instalace mimopecního odsiřování. Úspory na vysokých pecích vzniklé snížením teploty surového železa a vyloučením zásaditých přísad z vsázky by měli být větší než náklady na mimopecní odsiřování. K přínosům je potřebné počítat i vyšší cenu vyrobené oceli.

Mimopecní odsiřování probíhá v nádobě, do které se ponořenou trubicí injektují prachová odsiřovadla na bázi CaO, MgO, Mg, Al apod. Jejich množství i složení se mění s časem.

Schéma mimopecního odsiřování je na obr. 33.



Obr. 33: Schéma mimopecního odsiřování surového železa

Shrnutí pojmů:



Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- výpust' surového železa a strusky;
- odlévárna vysoké pece;
- železový žlab, struskový žlab;
- vrtačka a ucpávačka výpusti surového železa;
- licí stroj;
- granulace strusky;
- strusková jáma;
- mimopecní odsiřování;



Otázky:

1. Proč se již nepoužívá strusková výpust'?
2. Kde se odděluje vysokopecní struska od surového železa?
3. K čemu slouží licí stroj?
4. K čemu se používá granulace strusky?
5. Který minerál způsobuje rozpadavost strusek?
6. Kdy se používá mimopecní odsiřování surového železa?



Doporučena a použita literatura:

1. Brož, L.-Bilík,J.- Kret,J. :Vysokopecní výroba surového železa, VŠB –TU Ostrava,1985, 231 s.
2. Babich,A. a kol. IRONMAKING, Aachen,2008, 402 s., ISBN 3-86130-997-1
3. Geerdes,M., Toxopeus H., van der Vliet,C.: Výroba železa v moderních vysokých pecích, Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf, 2004, 118 s.

7 ČIŠTĚNÍ VYSOKOPECNÍHO PLYNU

Členění kapitoly:

- Odvod plynu z vysoké pece
- Hrubé čištění vysokopecního plynu
- Polojemné čištění vysokopecního plynu
- Jemné čištění vysokopecního plynu
- Zařízení na zvyšování tlaku ve vysoké peci
- Celkové schéma čištění vysokopecního plynu



Čas potřebný ke studiu: 70 minut



Cíl: Po prostudování této kapitoly

- **Budete znát způsob odvodu vysokopecního plynu z pece;**
- **Seznámíte se s odlučováním prachu v prašníku;**
- **Seznámíte se s odlučováním prach v pračkách;**
- **budete znát princip a techniku odlučování prachových částic pomocí Venturiho praček ;**
- **Seznámíte se se zařízením na zvyšování tlaku plynu ve vysoké peci;**
- **Budete znát celkový systém čištění vysokopecního plynu;**



Výklad

Způsob a míra využití vysokopecního plynu je v současnosti jedním z ukazatelů vyspělosti metalurgického podniku. I když je výhřevnost vysokopecního plynu nízká, vzhledem k jeho velkému množství tvoří významnou položku v energetické bilanci podniku.

Zdokonalování konstrukce a zvyšování účinnosti zařízení, které spotřebovávají vysokopecní plyn, vyžaduje vyšší požadavky na čistotu vysokopecního plynu. Ve vysokopecním závodu to souvisí i se životností ohřívačů větru, armatur a potrubí. Topný systém koksárenských baterií se vyžaduje čistota plynu pod 5 mg.m^{-3} .

Vlastnosti vysokopecního plynu

Vysokopecní plyn je druhotní produkt procesů probíhajících ve vysoké peci v průběhu výroby surového železa. Je to hořlavý, výbušný a jedovatý plyn. Hlavní hořlavá a jedovatá složka je CO. Na výhřevnosti se podílí i vodík a metan.

Složení vysokopecního plynu :

CO -	22 – 28 %
CO ₂ -	14 -20 %
CO + CO ₂ -	38-42 %
H ₂ -	2 – 4 %
CH ₄ -	0,3 – 0,8 %
N ₂ -	53-57 %

Složení plynu závisí na mnoha faktorech, hlavně na množství paliva ve vsázce a na technologii řízení vysoké pece. Výhřevnost vysokopecního plynu závisí na jeho složení pohybuje se kolem 4 MJ.m^{-3} .

Mez výbušnosti : spodní - 30 %, horní - 70 % . Kromě výhřevnosti je kritériem použitelnosti vysokopecního plynu množství prachu.

Odvod plynu se sazebný

Vysokopeční plyn proudí ze sazebny čtyřmi a následně dvěma svislými plynovody, tzv. stoupačkami. Obsahuje podle provozních podmínek 2 až 60 gramů prachu v 1 m³ plynu. Odtahové potrubí jsou umístěna na obvodu sazebny otočena proti sobě o 90°. Vhodně volený průměr, obvykle 2000 mm má umožnit snížit průtočnou rychlost, stejně vertikální výška plynovodu má snížit množství výhozu umožněním jeho zpětného pádu do vysoké pece. Rychlost plynu v těchto místech nemá být větší než 10 m.s⁻¹. Objem plynu a tím i jeho rychlost značně ovlivňuje jeho teplota.

Množství výhozu z vysoké pece ovlivňují hlavně následující faktory:

- fyzikální vlastnosti vsázky
- dodržování správné technologie provozu VP
- tepelný režim VP
- množství dmýchaného větru
- tlak na sazebně VP
- způsob zavážení VP
- konstrukce sazebny a sazebního zařízení

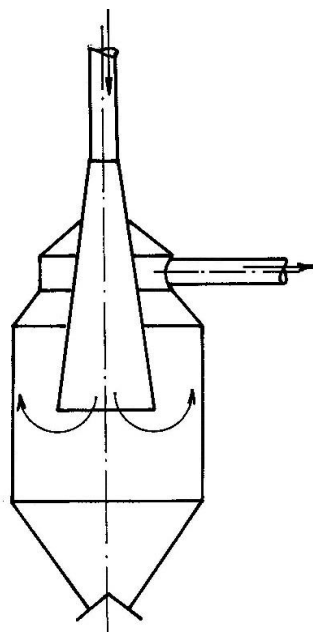
Vysokopeční výhoz je tvořený částicemi rudné vsázky, koksu a zásaditých přísad strženými proudícím plynem. Zrnitost výhozu se pohybuje od 1 μm po 500 μm. S poklesem rozměru částic rychle roste jejich měrný povrch. Se zvětšováním povrchu roste i schopnost adsorbovat plyn a zhoršuje se smáčivost zrna, což stěžuje zachytávání zrn prací kapalinou. Například povrch 10 mg částic o zrnitosti 500 μm je 0,428 cm², o zrnitosti 0,1 μm 2140 cm². Velký rozsah zrnitosti si vyžaduje čistit plyn v několika stupních. U prachu o zrnitosti nad 10 μm se dá využít Newtonova zákona, částice pod 1 μm se již tímto zákonem neřídí a částice pod 0,1 μm nepodléhají zákonům mechaniky tuhých těles a mají úplně jiné chování.

Čištění vysokopečního plynu možno rozdělit na:

- Hrubé čištění plynu
- Polojemné čištění plynu
- Jemné čištění plynu

7.1 Hrubé čištění plynu

Hrubé čištění vysokopečního plynu se provádí suchým způsobem v prašnicích, nebo v cyklonových odlučovačích. Při tomto způsobu se využívá gravitačních a setrvačných sil. V České republice se používají prašníky s axiálním přívodem plynu (obr. 34). Mezní rychlost proudění plynu musí být menší než rychlost kritická, která se dá vypočítat z rovnosti sil odporu prostředí a síly od hmotnosti zrna. V zahraničí se používá i cyklonových odlučovačů, u kterých se navíc využívá i odstředivá síla, což zvyšuje účinnost odlučování prachu.



Obr. 34 Prašník s axiálním přívodem plynu

7.2 Polojemné čištění VP plynu

V současnosti slouží k polojemnému čištění plynu nejčastěji vodní pračky (skrubry). Jsou to ocelové nádoby válcového tvaru. Na několika patrech jsou rozmístěny vodné trysky pracující tak, aby se v celém vodorovném průřezu vytvořila hustá vodní clona. Voda smáčí povrch částic a odnáší je v podobě kalů, které se vypouštějí ze spodní části skrubru. V praxi se používají nízkotlaké skrubry s dřevěnou výplní a vysokotlaké skrubry bez výplně. Vysokotlaké skrubry mají podstatně menší tlakovou ztrátu a vyšší účinnost (až 96 %).

Účinnost odlučování prachu ve skrubrech závisí na:

- smáčivosti prachu
- rychlosti proudění plynu
- poměru prací vody k množství plynu
- povrchovém napětí kapaliny

- rozptýlení vody (konstrukce trysek)
- tlaku vody a plynu
- obsahu prachu v plynu
- granulometrickém složení prachu

7.3 Jemné čištění plynu

V současnosti se ke konečnému, jemnému čištění vysokopecního plynu používají:

- Elektrostatické odlučovače prachu (elektrofiltry)
- Tkaninové filtry
- Venturiho proudové pračky.

V České republice se používá v současnosti nejrozšířenější způsob jemného čištění vysokopecního plynu – *Venturiho proudové pračky*.

Princip čištění vychází z poznatku, že větší částice se lépe odlučují a je výhodné, když se jemné částičky prachu spojí do větších a tím zvětší svou hmotnost.

U *Venturiho turbulentních praček* je shlukování částic docíleno tím, že plyn obsahující prach naráží velkou rychlostí (až $300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) na vodní clonu tvořenou různě konstruovanými tryskami v nejužším místě trubice. Dochází k vlhčení a shlukování částic. Rozptýlení vody v jemnou mlhu není docíleno jen tlakem vody (0,3 – 0,4 MPa), ale i nárazem pohybujícího se plynu na vodní kapky. Velikost vodních kapek je menší než u skrubrů. Rozprášení vody má dvě základní příčiny:

- a. Primární rozprášení vody vlivem vysokého rozdílu rychlosti mezi kapkami vody a proudem plynu
- b. Sekundární rozprášení způsobené rotací – rozpadem v turbulentním proudu.

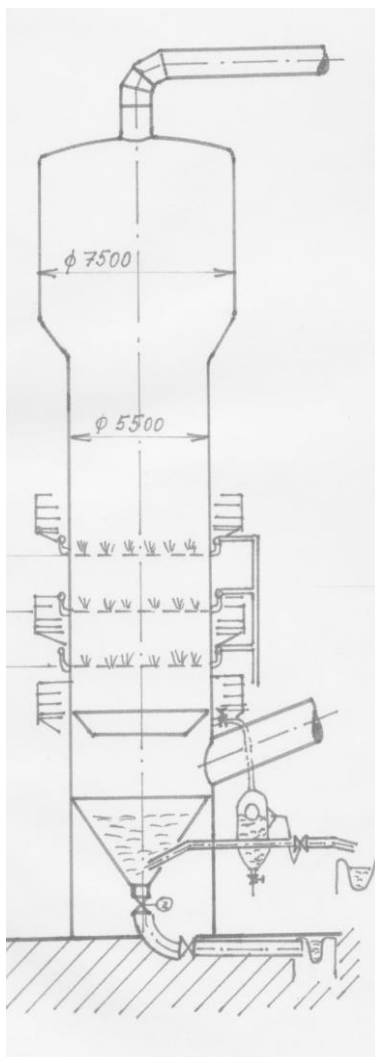
První fází procesu je zachycení kapek vody v proudu plynu. Aby se využilo maximálního rozdílu rychlosti vody a plynu je nutno umístit místi vstřikování co nejbližší hrdla pračky. Přitom je nutno zajistit rovnoměrné rozdělení vody po průřezu proudu plynu.

Druhou fází je odpařování a kondenzace vody v plynu. Pára obsažena v plynu může vlivem poklesu tlaku a teploty kondenzovat. Děje se tak hlavně na povrchu drobných částic, které mají teplotu nižší, než je teplota rosného bodu. Současně dochází k odpařování drobných kapek vody, jestli plyn není vodnou párou nasycen.

c. Shlukování kalových částic a jejich zachycení

Větší částice prachu, díky své hmotnosti přerazí bariéru povrchového napětí kapky vody jsou kapkou pohlceny a odloučeny. Částice menší než $0,1 \mu\text{m}$ se inerčně zachytit nedají a jejich zachycení se vysvětluje difuzí. Drobné částice se chovají jako velké molekuly – difundují ke kapkám vody, což vyžaduje čas. Tento proces potřebuje nízké rychlosti- $50\text{-}60 \text{ms}^{-1}$. Ukázku skrubru přináší obr. 35. Způsob a místo vstřikování vody má největší vliv na konstrukci pračky. Podle toho se Venturiho pračky rozdělují na pračky s:

- Centrálním způsobem skrápění (v ose trysky)
- Obvodovým způsobem skrápění (kolmo na osu trysky)
- plenovým způsobem skrápění
- Bezdotykovým způsobem skrápění (z hladiny)



Obr. 35 :Vodní pračka (skrubr) vysokopecního plynu

Venturiho pračky s regulovatelnou štěrbinou

Tento typ čištění plynů patří mezi nejdokonalější způsoby čištění plynů. V principu u takového způsobu pro oddělování pevných, kapalných a plynných látek není žádná spodní hranice týkající se velikosti zrn, nebo jejich koncentrace. Při každém rozduřování za mokra je možné zachytit i nejjemnější částice zvětšením setrvační síly při odpovídající vysoké rychlosti plynu. Při vývoji čističe s kruhovou štěrbinou se vycházelo z toho, aby se získalo vysloveně turbulentní proudění v mezní vrstvě, s velkým množstvím malých turbulencí, které jsou nejvhodnější pro transportní procesy v důsledku intenzivního míchání. Čistič s kruhovou štěrbinou má axiálně symetrickou konstrukci. Tato umožňuje dosáhnout rovnoměrného rozdělení vody po celé štěrbině kruhového průřezu pomocí šroubovité trysky, která pracuje bez ucpávání. Čističe s kruhovou štěrbinou se vyrábějí v následujících variantách :

- Kruhový průřez se zmenšuje ve směru proudění
- Kruhový průřez se zvětšuje ve směru proudění
- Čistič s kruhovou štěrbinou jako vodní uzávěr
- Čistič kruhovou šroubovitou štěrbinou
- Čistič se zvláštním vývodem pro vysoké diferenční tlaky

Vybrané typy jsou uvedeny na obr. 36. Čistič s kruhovou štěrbinou plní funkci čističe i regulátoru průtoku plynu. Tento způsob čištění plynu umožňuje vyčištění plynu na hodnoty pod $1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ plynu.

Za jemné čištění plynu se obvykle zařazuje odlučovač kapek vody za účelem odvodnění plynu.

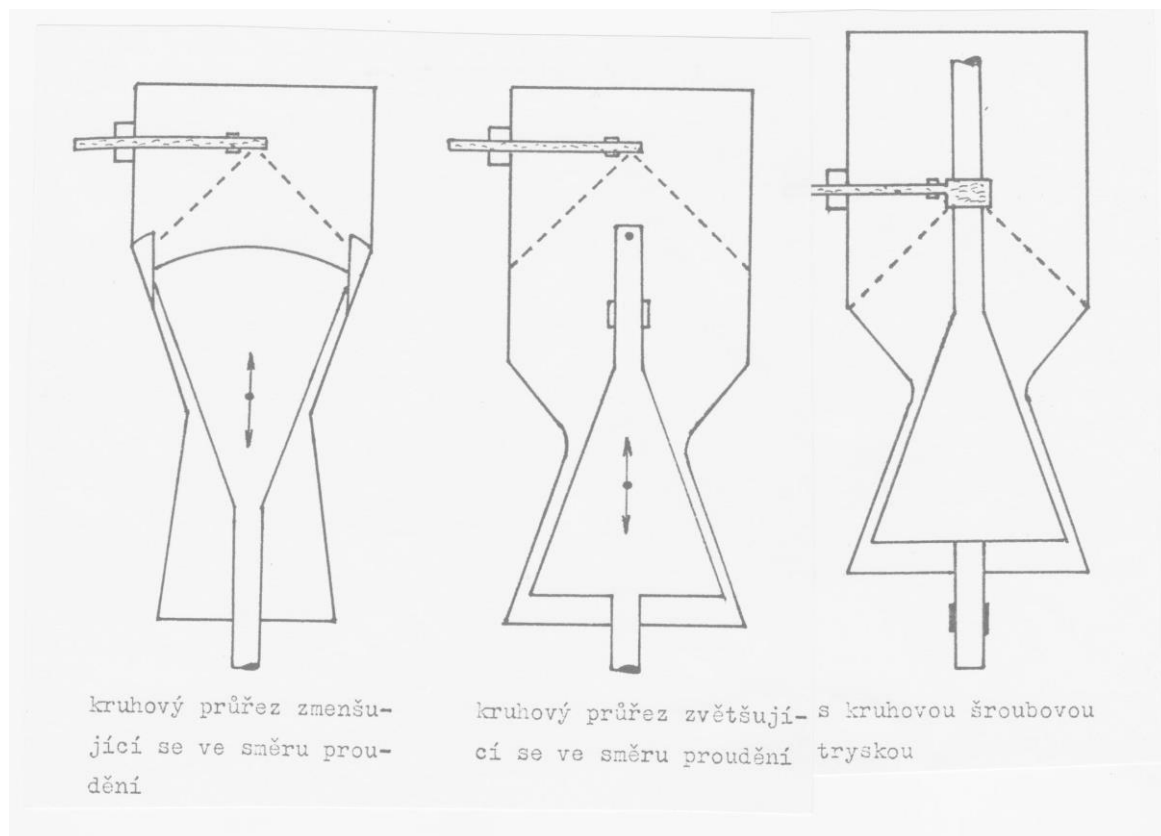
Zařízení na zvyšování tlaku ve vysoké peci

Zařízení na zvyšování tlaku v peci je umístěné za systémem čištění plynu a slouží zároveň i jako poslední stupeň čištění plynu. K uvedenému účelu se používají dva různé systémy:

- Zařízení známé pod názvem „expanzní stanice“, nebo „expandér“ i když se ve skutečnosti jedná o škrťací soustavu. Jedná se o vodorovný válec (o průměru 1200 mm) zařazený do plynového potrubí za plynočistírnu, který je uzavřen záslenkou s několika otvory, opatřeny regulačními klapami. Tři škrťací klapky se ovládají automaticky, nebo z velínu. Jedna klapa o menším průměru je nastavena na poloviční průchod plynu a jedna klapa ve spodní části slouží jako bezpečnostní průchod plynu a

vody. Před regulačními klapkami se kolmo na směr proudění vstříkuje voda, která slouží k ochraně těsnících ploch před opotřebením a zároveň jako poslední stupeň čištění plynu.

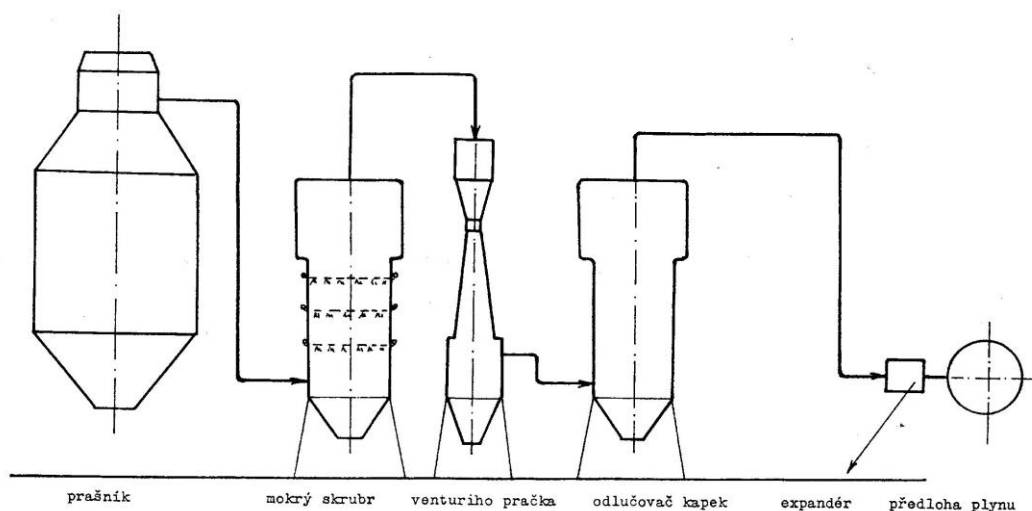
- Expanzní turbíny



Obr. 36 Venturiho čističe s regulovatelnou kruhovou štěrbinou

U moderních vysokých pecí se tepelná a tlaková energie vysokopecního plynu nemění na neužitečné teplo škrcením, ale se využívá k výrobě elektrické energie v expanzní turbíně. Používají se axiální i radiální expanzní turbíny a jejich předností je snižování energické náročnosti výroby surového železa.

Celkové schéma čištění vysokopecního plynu používané v České republice je zobrazeno na obr. 37.



Obr. 37 Schéma čištění vysokopecního plynu používané v České republice

Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- svislé plynovody, prašník;
- pračka plynu, skrubr;
- Venturiho proudová pračka;
- Venturiho čističe s regulovatelnou kruhovou štěrbinou;
- Expandér, expanzní turbína;



Otázky:

1. Kolik prachu obsahuje surový vysokopecní plyn?
2. Kterých sil se využívá při hrubém čištění VP plynu?
3. Na jakém principu pracuje Venturiho proudová pračka?
4. Jaká je konečná čistota vysokopecního plynu?
5. Jaká je výhoda Venturiho čističe s regulovatelnou kruhovou štěrbinou?
6. Jaká je výhoda expanzních turbín?



Doporučena a použita literatura :

1. Brož, L.-Bilík,J.- Kret,J. :Vysokopecní výroba surového železa, VŠB –TU Ostrava,1985, 231 s.
2. Babich,A. a kol. : IRONMAKING, Aachen,2008, 402 s., ISBN 3-86130-997-1

8 TECHNOLOGICKÉ PORUCHY CHODU PECE

Členění kapitoly:

- Důsledky technologických poruch
- Studený chod vysoké pece
- Horký chod vysoké pece
- Zavápnění vysoké pece
- Zarůstání nístěje
- Poškození vyzdívky nístěje
- Nasazeniny ve vysoké peci



Čas potřebný ke studiu: 50 minut



Cíl: Po prostudování této kapitoly

- pochopíte důležitost předcházení technologických poruch;
- poznáte základné typy technologických poruch;
- budete schopni identifikovat jednotlivé poruchy;
- poznáte způsoby odstranění jednotlivých technologických poruch;
- poznáte příčiny vzniku nasazenin ve vysoké peci;
- seznámíte se se způsoby odstraňování nasazenin;



Výklad

Technologickou poruchou vysoké pece je každé omezení, nebo přerušení výroby vyvolané jinými příčinami než poruchou strojního zařízení vysoké pece, nebo jejího příslušenství. Každá taková porucha má za následek ztrátu na výrobě, zvýšenou měrnou spotřebu paliva a

zhoršenou jakost surového železa. Aby nedocházelo k ekonomickým ztrátám, je nezbytné těmto poruchám předcházet, nebo je v zárodku potlačovat.

8.1 Studený chod vysoké pece

Studeným chodem nazýváme takové náhlé ochlazení spodní části vysoké pece, při kterém hrozí ztuhnutí surového železa a strusky v nístěji a je zhoršován, nebo znemožněn sestup vsázky.

Příznaky studeného chodu – ztmavnutí až zčernání strusky, vyvolané zvýšením podílu přímé redukce oxidů železa, zmenšený jas kusů koksu v oxidačních prostorech a tmavé kusy neroztavených kusů vsázky, nízká teplota surového železa, vysoký obsah síry v surovém železe, nízký obsah křemíku a manganu, snížená teplota plynu na sazebně, v kritickém případě zalití výfučen, někdy i dmyšných trubic struskou často promíchanou se surovým železem, odpich surového železa a strusky bývá znemožněn.

Příčiny studeného chodu - vnikání vody z vadných armatur do pecního prostoru, chybný výpočet, nebo vážení vsázky, náhle zhoršení kvality koksu, uvolnění nasazeniny z pecní stěny, příliš intenzivní chod pece, silný periferní chod pece, nadměrné množství injektovaných náhradních paliv bez příslušného zvýšení teploty větru, nebo jeho obohacení kyslíkem, převedení pece na vysoký tlak bez úpravy sypání a další.

Opatření k obnovení původního stavu- Při nepřilíš velkém ochlazení, kdy lze provádět odpichy se zvýší podíl koksu ve vsázkách, popřípadě zavézt několik koksových vsázek. Opraví se chyby ve složení vsázky, vymění se chybné armatury, zastaví se vlhčení větru, zvýší se jeho teplota, a obohatí se kyslíkem. Pomáhá i zmenšení intenzity dmýchání větru. V případě, že tekuté produkty nevytékají, dojde k zalití výfučen, je nutno vysokou pec zastavit, výfučny vyčistit a ucpat žáruvzdornou hmotou. Malý otvor se ponechá ve výfučně nad výpustí surového železa a obnoví se dmýchání velmi horkého větru obohaceného kyslíkem. Nepodaří-li se propálit výpust surového železa musí se propálit nouzová výpust. Odpichy surového železa se struskou se provádí v krátkých intervalech a na normální výpust se přechází až po dostatečném zvýšení teploty produktů. Postupně se uvádějí do provozu vždy vedlejší výfučny. Obnovení normálního provozu může trvat několik dnů až týdnů.

8.2 Horký chod vysoké pece

Horký chod je opakem studeného chodu.

Příznaky horkého chodu – silný jas cirkulujícího koksu v oxidačních prostorech, světlá až bílá zásaditá struska, vysoký obsah křemíku a manganu v surovém železe a jeho vysoká teplota, nízký obsah síry, zastavení poklesu vsázky, nutnost podtrhávání pece.

Příčiny horkého chodu – nadměrné množství paliva ve vsázce, jiná chyba ve složení, nebo vážení složek vsázky, zastavení injektáže náhradních paliv bez zastavení kyslíku apod.

Opatření k obnovení původního stavu – Oprava složení vsázky, zvýšení vlhkosti větru, snížení teplota větru, snížení koncentrace kyslíku ve větru.

8.3 Zavápnění vysoké pece

Zavápněním vysoké pece se rozumí technologická porucha způsobená nadměrnou zásaditostí strusky, která vytéká velmi obtížně a hned se mění na prach, nebo nevytéká vůbec. Příčinou bývá chyba ve složení, nebo vážení vsázky. Pokud lze produkty, třeba i obtížně vypouštět zavápnění se odstraní silně kyselou vsázkou a zvýšenou spotřebou paliva. V jiném případě se postupuje jako při studeném chodu.

8.4 Zarůstání nístěje

Zarůstáním nístěje se rozumí zmenšováním objemu nístěje vzniklou nasazeninou, jejímž důsledkem bývá hromadné pálení výfučen. Příčinou bývá špatná kvalita koksu, nebo ochlazením nístěje vnikající vodou. K obnovení normálního stavu je potřeba přechodně zvýšit obsah manganu ve vsázce (propláchnutí nístěje), pracovat s kyslejší struskou, zvýšit teplotu v nístěji a zkrátit interval mezi odpichy.

8.5 Poškození vyzdívky nístěje

Narušení uhlíkové vyzdívky v nístěji je porucha, která může mít velmi vážné důsledky, až protavení nístěje. Může být způsobena teplotní nehomogenitou apod. Zjistí se zvyšováním teplota na příslušných termočláncích, nebo jejich zničením. K obnovení normálního stavu je potřeba do nístěje dopravit TiO_2 , nebo ilmenit. Při technologii s injektáží uhlí do pece je možno injektovat titan spolu s uhlím. Injektuje se několika výfučnami tak, aby porucha ležela mezi těmito výfučnami a odpichovým otvorem surového železa. V případě, že injektáž výfučnami nelze provést, přivádí se titanová sloučenina vsázkou. Ilmenit, nebo titanový aglomerát se přidává do vsázky přibližně 8 hodin před plánovaným zastavením pece. Předtím se zvýší množství koksu ve vsázce, aby vyšší teplota podpořila redukci titanu. Když je

vyredukovaný titan v nístěji, pec se zastaví, teplota klesne a na stěnách nístěje kondenzuje vzniklý karbonitrid titanu, který zabrání dalšímu poškozování nístěje.

8.6 Nasazeniny ve vysoké peci

Tvorba nasazenin ve vysoké peci je jednou z nejvážnějších příčin výrobních i ekonomických ztrát při výrobě surového železa. Většina nasazenin se tvoří ve spodní části šachty a postupně se rozšiřuje na střední a horní část. Nad patou nasazeniny, která pevně lpí na vyzdívce, bývá navršen sypký materiál výrazně měnící pracovní profil vysoké pece. V některých případech se na celém vnitřním povrchu nasazeniny tvoří tenká, avšak tvrdá kůra, která nasazeninu stabilizuje. Tenké a v celém průřezu ztvrdlé nasazeniny se nazývají garnisáž a bývají obvykle užitečné, neboť chrání pecní vyzdívku před poškozením (sedlo, rozpor).

Tvar nasazenin může být velmi různý, avšak nejčastěji se tvoří ve tvaru prstence o tloušťce 1 až 6 m. Ještě rozměrnější bývají jednostranné nasazeniny.

Nasazeniny ve vysoké peci se projevují různě v závislosti na jejich tvaru a rozměru, vždy jsou však příčinou nepravidelného chodu vysoké pece. Obvykle se výrazně mění teplotní pole v sazebně i rozložení teplot a obsahu CO₂ v horizontálním průřezu šachty zjištěná pomocí horizontálních zásuvných sond. Teplot vyzdívky vždy klesá, množství výhozu roste. Dochází k zavěšování vsázky, které vyžaduje „podtrhávání“ pece, při němž může dojít k částečnému uvolnění nasazeniny a k ochlazení spodní části vysoké pece. Podtrhávání pece je krátkodobé snížení tlaku vysokopecního větru. Tlak plynu shora uvolní nasazeninu, která klesne do spodní části pece. Zásahy změnou sypání jsou obvykle málo účinné.

Příčiny tvorby nasazenin:

- přítomnost alkálií ve vsázce,
- přítomnost zinku ve vsázce,
- nevhodné pevnostní charakteristiky koksu a rudné části vsázky,
- dlouho trvající vnitřní chod pece se zavěšováním vsázky
- extrémní vnější chod pece, při němž je struska strhávána plynem do oblasti nižších teplot, kde tuhne,
- šikmý chod pece,
- vnikání vody do pece,

- dlouho trvající zastavení pece bez řádné tepelné přípravy,
- silně zásaditá struska v blízkosti stěny pece,
- náhle ochlazená primární struska s vysokým obsahem FeO, která vlivem zvýšené přímé redukce ztuhne,
- nesprávný profil vysoké pece.

Metody intenzifikace nasazenin jsou založeny na měření teploty vyzdívky, nebo výstupní chladící vody, na měření teploty a obsahu CO₂ v plynu v horizontálním průřezu šachty apod.

Spolehlivé výsledky lze dosáhnout vrtáním vyzdívky šachty a následujícím zasunutím ocelové tyče do prostoru vysoké pece. V místech s proudícím plynem se tyč po krátké době silně rozžhává, zatímco v ostatních místech zůstává chladná.

Způsoby likvidace nasazenin při plném provozu pece, např. zintenzivňováním obvodového proudění plynu, podtrháváním pece, nebo omezováním přívodu chladící vody do příslušného místa, nebývají vždy účinné a nasazeniny se odstraňují pyrotechnicky po částečném sfoukání a zastavení pece.

Shrnutí pojmů:



Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

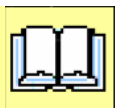
- studený chod vysoké pece;
- horký chod vysoké pece;
- zavápnění pece;
- zarůstání nístěje vysoké pece;
- rozpouštění uhlíku dna a nístěje vysoké pece;
- nasazeniny ve vysoké peci;
- podtrhávání vysoké pece;



Otázky:

1. Kde se odděluje struska od surového železa?

2. Co je studený chod vysoké pece a jaké jsou jeho příčiny?
3. Jak se odstraňuje studený chod VP?
4. Co je horký chod vysoké pece a jaké jsou jeho příčiny?
5. Jak se odstraňuje horký chod VP?
6. Jak se řeší problém usazování uhlíku v nístěji vysoké pece?
7. Jak se řeší problém rozpouštění uhlíku v nístěji vysoké pece?
8. Jaké jsou příčiny vzniku nasazenin ve vysoké peci?
9. Co znamená pojem - podtrhávání vysoké pece?



Doporučena a použita literatura :

1. Brož, L.-Bilík,J.- Kret,J. :Vysokopecní výroba surového železa, VŠB –TU Ostrava,1985, 231 s.
2. Babich,A. a kol. : IRONMAKING, Aachen,2008, 402 s., ISBN 3-86130-997-1

9 KONSTRUKCE VYSOKÉ PECE

Členění kapitoly:

- Uspořádání vysokopecního provozu
- Základ vysoké pece
- Ocelová konstrukce vysoké pece
- Ocelový plášť vysoké pece
- Velikost vysoké pece
- Základy výpočtu profilu vysoké pece



Čas potřebný ke studiu: 90 minut



Cíl: Po prostudování této kapitoly

- pochopíte důležitost rozmístění jednotlivých vysokých pecí;
- seznámíte se s důležitostí konstrukce základu vysoké pece;
- pochopíte systém ocelové konstrukce vysoké pece;
- poznáte funkce pláště vysoké pece;
- seznámíte se s definicí pracovního objemu vysoké pece
- seznámíte se se způsobem výpočtu profilu vysoké pece.



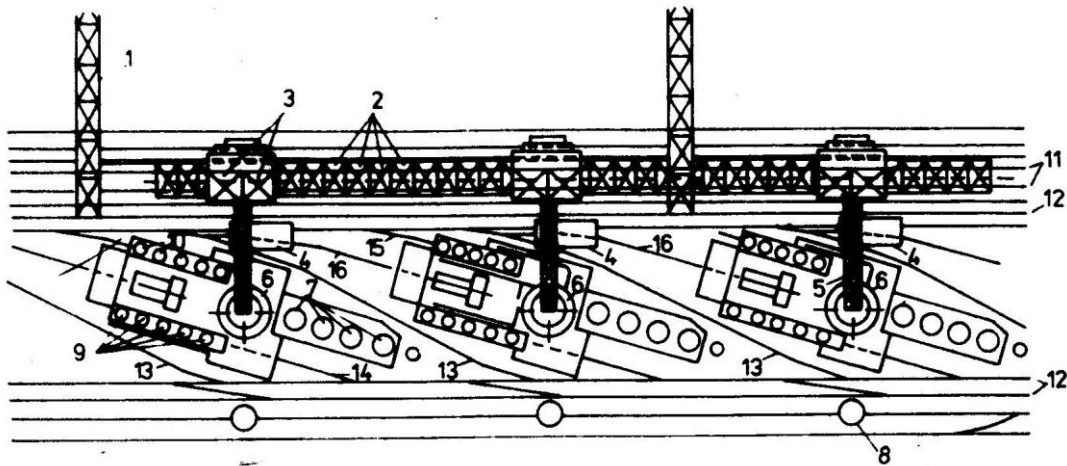
Výklad

Vysokopecní provoz je obvykle tvořen několika vysokými pecemi. Vzájemné prostorové uspořádání jednotlivých pecí bývá různé a závisí na prostorových možnostech dopravní

obslužnosti i technologických faktorech. Podle směru vysoká pec odlévárna se používá uspořádání rovnoběžné, příčné, nebo úhlové (ostrovní). U nás se používá většinou úhlové uspořádání (obr.38), kde je každá vysoká pec obklopena ze všech stran kolejištěm (ostrovní). Toto uspořádání umožňuje přístup k peci z každé strany i při poruše některého kolejiště. Někdy se hlavně velká vysoká pec staví samostatně a mívá obyčejně kruhovou odlévárnu.

9.1 Základ vysoké pece

Moderní vysoká pec spolu s technologickým zařízením dosahuje hmotnosti až 50 000 tun. Je potřeba počítat s hmotností vsázky, se zatížením pro montáž a opravy i se silami od povětrnostních podmínek. Je potřeba počítat i s dynamickým účinkem náhlého poklesu vsázky. Základ vysoké pece musí všechny tyto síly unést.



Obr. 38 Úhlové (ostrovní) uspořádání vysokých pecí

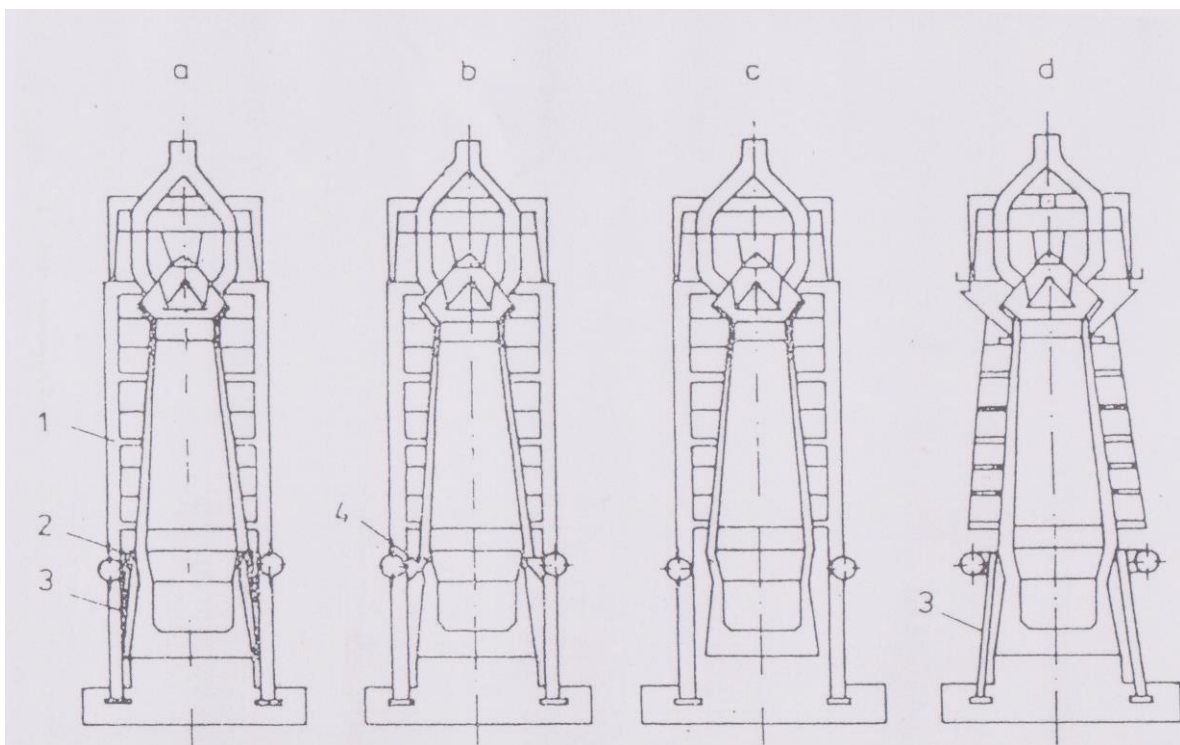
1- most rudištního jeřábu, 2- rudné zásobníky, 3- koksové zásobníky, 4 – strojovna, 5- skipová dráha, 6- vysoká pec, 7- ohřivače větru, 8- komín, 9- pojízdný míchač, 10 – pánve na strusku, 11- kolejiště rudného mostu, 12- průjezdné kolejiště, 13- spojovací kolejiště, 14,15,16, -odstavná kolejiště

Vysokopeční základ se skládá z podzemní železobetonové základové desky o tloušťce až 7 m a z nadzemní části, na níž spočívá vlastní pec. Tato nadzemní část základu se zhotovuje ze žáruvzdorného betonu, který snáší teploty 1400 až 1500 °C. Do základové desky jsou vždy zapuštěny paty sloupů nosné ocelové konstrukce vysoké pece. Tloušťka nadzemní části základu bývá 3 až 3,5 m.

Ocelová konstrukce vysokých pecí se řeší různě a jednotlivé její typy se liší zejména způsobem přenosu zatížení celé vysoké pece na základ. U českých pecí je obvyklá ocelová konstrukce se čtyřmi svislými sloupy, které podpírají nahoře sazební plošinu s příslušenstvím,

a v úrovni rozporu horní část vysoké pece, prostřednictvím mohutného ocelového věnce (obr.39 b). Spodní část vysoké pece, spočívá přímo na pecním základě. Životnost ocelové konstrukce se prodlužuje protikorozní ochranou. Před natíráním se dělá povrchová úprava pískováním a povrch se natírá 4 vrstvami nátěru. Části ocelové konstrukce, kde může docházet k tepelnému namáhání, jsou opatřeny tepelnou ochranou v potřebné kvalitě a rozsahu.

Vyzdívka celé vysoké pece od dna až po sazebnu je uzavřena v plynotěsném ocelovém plášti o tloušťce 20 až 50 mm. Největší tloušťka pláště je v nístěji a v oblasti dna. Ocelový plášť je obvykle celosvařovaný a vyrobený buď z nízko legovaných ocelí, nebo z oceli sloužících k výrobě kotlů. Používají-li se k chlazení vyzdívky šachty chladicí klíny, které jsou vyvedeny z pece, je pecní plášť značně zeslaben velkým počtem obdélníkových výřezů. Proto se okraje těchto výřezů zesilují navařováním.



Obr. 39 Ocelová konstrukce vysoké pece

a – s šikmými podpěrami šachty, b – s nosným prstencem šachty na vnější konstrukci, c – samonosná pec s vnější konstrukcí, na níž spočívá sazebna, d – s šikmými podpěrami šachty bez vnější konstrukce
 1 – vnější ocelová konstrukce, 2 – nosný prstenec 3 – šikmé podpěry, 4 - konzoly na vnější konstrukci

Velikost vysoké pece se posuzuje ve světě různě. U nás se používá pojmu „užitečný objem vysoké pece, ve světě se používá i termín „vnitřní objem vysoké pece“, nebo „pracovní objem

vysoké pece“. V Německu se velikost pece posuzuje podle průměru nístěje, z kterého se vychází i při návrhu profilu vysoké pece.

Užitečný objem vysoké pece je definovaný jako vnitřní objem vysoké pece ohraničený shora spodní hranou zvonu bezzvonové sazebný v nejnižší poloze, nebo spodní hranou spuštěného velkého (spodního) zvonu, zdola osou odpichového otvoru surového železa na plášti vysoké pece. Na obvodě je ohraničen povrchem nové vyzdívky.

Vnitřní objem vysoké pece

Vnitřní objem vysoké pece je určen objemem vnitřního prostoru vysoké pece ohraničeném ve spodní části osou odpichového otvoru na vnitřním povrchu vyzdívky, v horní části úrovni vsázky na sazebně, která se počítá obvyčejně 1300 mm pod nejnižší hranou sklopného žlabu bezzvonového uzávěru nejnižší poloze (spodní hranou spuštěného dolního zvonu a na obvodě obrysem nové vyzdívky).

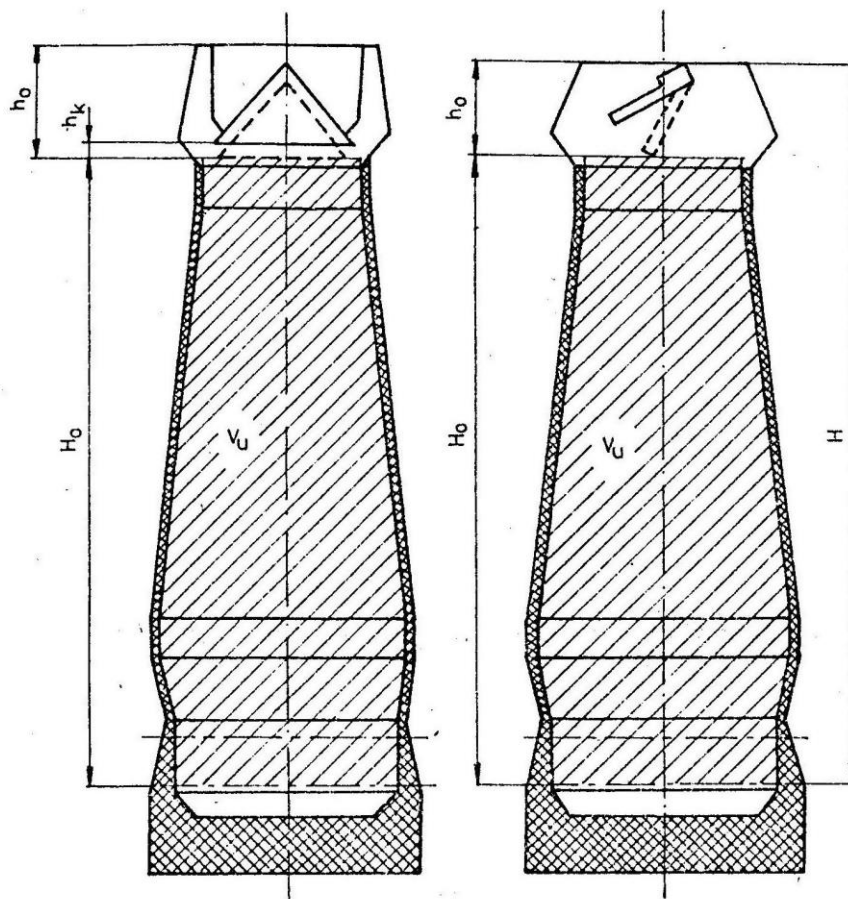
Pracovní objem vysoké pece

Pracovní objem vysoké pece je určen objemem vnitřního prostoru vysoké pece ohraničeném ve spodní části osou výfucen na vnitřním povrchu vyzdívky, v horní části úrovni vsázky na sazebně, která se počítá obvyčejně 1300 mm pod nejnižší hranou sklopného žlabu bezzvonového uzávěru nejnižší poloze (spodní hranou spuštěného dolního zvonu a na obvodě obrysem nové vyzdívky).

Užitečný objem vysoké pece

Užitečný objem vysoké pece (obr. 40) se v minulosti určoval tak, že se vybrala dobře pracující vysoká pec podobného výkonu a odhadl se potřebný užitečný objem. Konkrétní rozměry vysoké pece se odvozovaly z navrženého užitečného objemu využitím různých empirických vztahů mezi nimi. Používané metody byly empirické, nebyly teoreticky podložené a nebraly do úvahy různé druhy a vlastnosti vsázkových surovin. V současnosti se u nás využívá způsob návrhu profilu vysoké pece, který nevychází z hodnoty užitečného objemu, ale z koeficientu využití užitečného objemu – k_0 (KIPO). Tento koeficient se na rozdíl od užitečného objemu v praxi mění jen málo (od 0 do 0,6). Pro tento koeficient platí :

$$k_0 = \frac{Vu}{Pd} \qquad k_0 = \frac{t.v}{24}$$



Obr. 40 Užitečný objem vysoké pece

$$v = \varepsilon_p \left(\frac{m_a}{\rho_{sa}} + \frac{m_p}{\rho_{sp}} + \frac{m_k}{\rho_{sk}} + \dots + \frac{m_x}{\rho_{sx}} \right)$$

kde je :

k_0 - koeficient využití užitečného objemu ($\text{m}^3\text{t}^{-1}\text{d}$)

V_u - užitečný objem VP (m^3)

P_d - denní výroba vysoké pece (td^{-1})

t - doba setrvání vsázky ve vysoké peci (průtavná doba) (hod.)

v - měrný objem vsázkových materiálů (m^3t^{-1})

ε_p - koeficient vyjadřující zmenšení měrného objemu v důsledku promíchání velkých a malých kusů

m_a, m_p, m_k, m_x - měrné množství aglomerátu, pelet, koksu a dalších surovin v přepočtu na tunu surového železa

$\rho_{sa}, \rho_{sp}, \rho_{sk}, \rho_{sx}$ - sypná hustota aglomerátu, pelet, koksu, případně dalších surovin (tm^{-3})

Průtavná doba se odhadne podle provozních zkušeností, vypočítá se k_0 a určí se potřebný užitečný objem

$$V_u = k_0 \cdot P_d$$

Hodnotu užitečného objemu zaokrouhlíme, případně upravíme (z konstrukčních důvodů) a zkontrolujeme odhadnutou průtavnou dobu.

Výšku vysoké pece určíme podle vzorce :

$$H = \sqrt[3]{\frac{V_u \cdot n^2}{K}} \quad (\text{m})$$

kde :

n – koeficient, jehož je dána poměrem výšky pece k průměru rozporu

K – koeficient zohledňující odchylku tvaru pracovního prostoru pece od tvaru válce

Další rozměry určíme podle poměru různých průměrů a výšek jednotlivých částí vysoké pece.

Výpočet průměru nístěje vychází z hodnoty intenzity hoření uhlíku před výfučnami pece, výška nístěje se určí z podmínky, že výška hladiny surového železa a strusky mezi jednotlivými odpichy nesmí dosáhnout úrovně výfučen.



Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- ostrovní uspořádání vysokých pecí;
- plášť vysoké pece;
- ocelová konstrukce vysoké pece
- užitečný objem vysoké pece;
- pracovní objem vysoké pece;
- denní výroba vysoké pece;
- měrný objem vsázky;



Otázky:

1. Jaká je výhoda ostrovního uspořádání vysokých pecí?
2. Které síly se přenášejí na základ vysoké pece?

3. K čemu slouží ocelová konstrukce vysoké pece?
4. Co je užitečný objem vysoké pece?
5. Co je pracovní objem vysoké pece?
6. Co je vnitřní objem vysoké pece?
7. Co je měrný objem vsázky?



Doporučená a použitá literatura:

1. Kret, J. – Vegman, J. F.- Klempert, V. M. : Vysokopeční výroba železa I. VŠB-TU Ostrava, 1991,100s., ISBN 80-7078-084-3
2. KRÓL, L.: Konstrukcja i urzadzenia wielkiego pieca. Slask – Katowice, 480 s

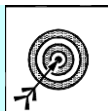
10 VYZDÍVKA VYSOKÉ PECE

Členění kapitoly:

- Funkce vyzdívky vysoké pece
- Vlivy na vyzdívku vysoké pece
- Vyzdívání vysoké pece v jejich jednotlivých částech
- Vyzdívání dna a nístěje vysoké pece
- Pěchované nístěje
- Nístěje s uhlíkových a grafitových bloků
- Opotřebení dna a nístěje



Čas potřebný ke studiu: 100 minut



Cíl: Po prostudování této kapitoly

- Budete znát funkce vysokopecní vyzdívky;
- Seznámíte se s vlivy na vysokopecní vyzdívku v částech vysoké pece;
- Seznámíte se se způsobem vyzdívání jednotlivých částí vysoké pece;
- Seznámíte se se způsobem vyzdívání dna a nístěje vysoké pece pěchováním výduskou;
- Seznámíte se s výhodami konstrukce nístěje z uhlíkových a grafitových bloků;
- Poznáte způsoby opotřebenosti dna a nístěje vysokých pecí;



Výklad

Délka kampaně vysoké pece je limitována životností její vyzdívky. Kvalita a životnost vyzdívky je rozhodující i pro bezpečnost provozu vysoké pece.

Vyzdívka vysoké pece zajišťuje hlavně následující úkoly:

- Snížit intenzitu přestupu tepla z redukčních plynů ve vysoké peci na chladicí systém.
- Zabránit opotřebenosti prvků chladicího systému mechanickým otěrem vsázkových surovin a účinkem horkých plynů.
- Zabránit přímému styku chladicího systému s tekutým surovým železem a roztavenou struskou.

Ve vysoké peci působí na vyzdívku hlavně následující vlivy:

- teplota a její změny
- tlak plynu a tlak vsázky
- mechanické účinky vsázky a proudění plynů (otěr, nárazy, vibrace apod.)
- chemické účinky a oxidace CO_2 , H_2O , Fe_2O_3
- vylučování zinku a uhlíku způsobující trhání zdiva
- účinky alkálií
- rozpouštění zdiva působením tekutého surového železa a strusky
- drcení zdiva vlivem nedostatečných spár

V různých místech a horizontech vysoké pece působí na vyzdívku různé vlivy, proto jsou na vyzdívku v různých místech kladeny různé požadavky. Uvedené vlivy jsou závislé na teplotě.

V jednotlivých pásmech vysoké pece jsou na vyzdívku kladeny následující požadavky.

Dno vysoké pece:

- vysoká tepelná vodivost
- odolnost proti účinkům surového železa
- objemová stálost

Nístěj vysoké pece :

- vysoká tepelná vodivost
- odolnost proti účinkům surového železa

- odolnost proti účinkům strusky
- odolnost proti účinkům alkálií
- objemová stálost
- odolnost proti otěru

Rozpor :

- vysoká tepelná vodivost
- odolnost proti účinkům surového železa a strusky
- odolnost proti účinkům alkálií
- odolnost proti otěru
- objemová stálost
- odolnost proti oxidaci

Sedlo :

- vysoká tepelná vodivost
- odolnost proti účinkům surového železa, strusky a alkálií
- odolnost proti otěru
- objemová stálost
- odolnost proti oxidaci

Spodní část šachty :

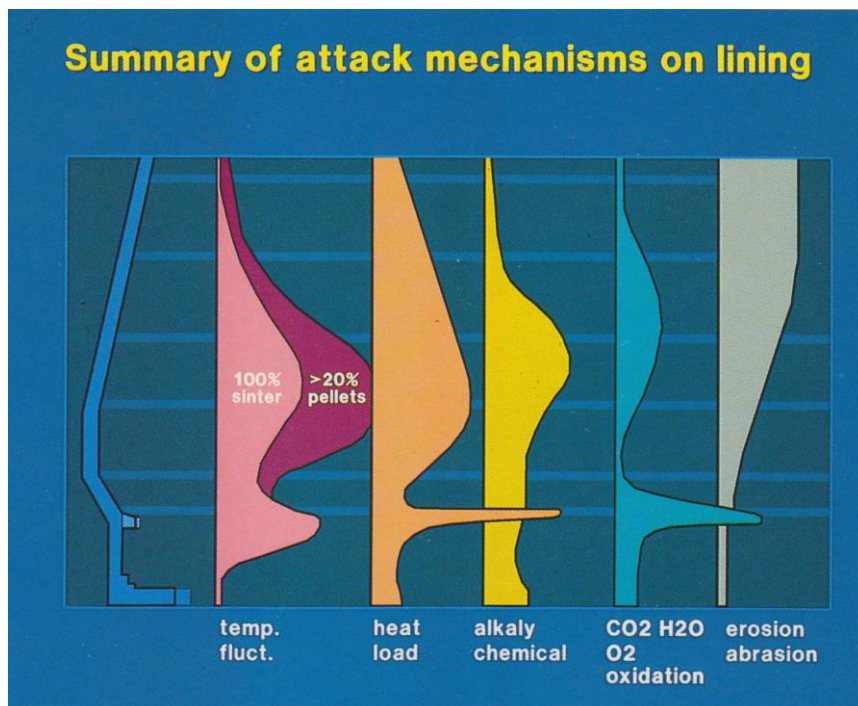
- vysoká tepelná vodivost
- odolnost proti otěru
- odolnost proti účinkem alkálií
- odolnost proti oxidaci
- objemová stálost

Horní část šachty :

- odolnost proti otěru

- vysoká tepelná vodivost
- odolnost proti alkáliím a oxidaci
- objemová stálost

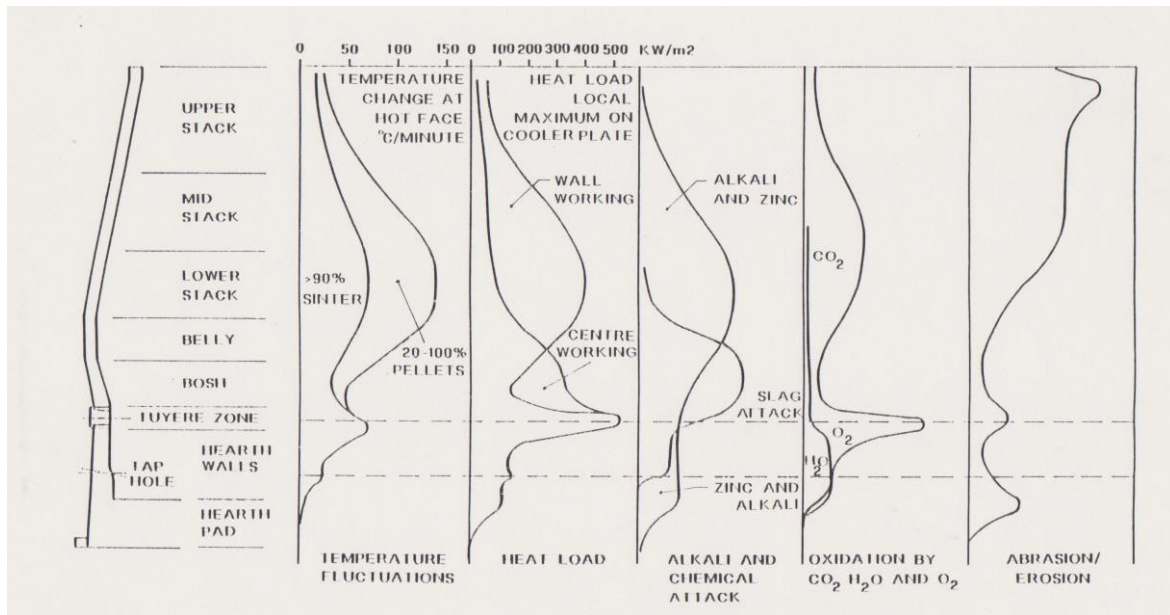
Míra napadání vyzdívky vysoké pece po její výšce je znázorněna na obr. 41 a 42.



Obr. 41: Napadání vyzdívky VP škodlivými vlivy po její výšce

V minulosti se pro vyzdívku horní části šachty používal šamot, směrem dolů k rozporu se zvyšoval podíl Al_2O_3 až po korund v oblasti rozporu a sedla. Níže a dno vysoké pece se opatřovala dusanou uhlíkovou výdusku.

Klasické materiály s nízkou tepelnou vodivostí –šamoty a vysoce hlinité materiály – již nevyhovují svou nízkou životností (nedrží stálý profil). Z tohoto důvodu byly nahrazeny materiály s vysokou tepelnou vodivostí na bázi uhlíku, grafitu a SiC.



Obr. 42: Míra napadání vysokopecní vyzdívky po její výšce

SiC má tepelnou vodivost desetkrát vyšší než šamot a pětkrát vyšší než korund (Al_2O_3), stejnou jako některé uhlíkaté materiály ale podstatně nižší než grafit.

Bylo vyvinuto mnoho žáruvzdorných materiálů hlavně na bázi SiC s vazbou nitridem křemíku Si_3N_4 . Tyto materiály v kombinaci s intenzivním chlazením (nové typy chladnic) vydrželi 15 až 20 let.

Materiály na bázi SiC s vazbou ze „Sialonu“ mají vysokou tepelnou vodivost ($25 - 30 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$), aplikují se s intenzivním chlazením a vysokými teplotními ztrátami, ale mají lepší ostatní vlastnosti jako materiály s vazbou nitridovou.

Sialon :



Když $z = 0 \Rightarrow \text{Si}_3\text{N}_4$ - nitridová vazba

Na rozdíl od klasických materiálů, u kterých se vyžaduje vysoká tepelná vodivost (teplotní řešení) se do budoucna se uvažuje s použitím materiálů s nízkou teplotní vodivostí (izolační řešení), které výrazně snižují tepelné ztráty a zachovávají si vysokou odolnost i při vysokých teplotách. Příkladem jsou materiály z korundu se sialonovou vazbou s tepelnou vodivostí asi $3,5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. I při vysoké teplotě si zachovávají vysokou odolnost vůči alkáliím, tekutému železu, strusce apod. Jsou vhodné jako náhrada uhlíkové vyzdívky.

V oblasti sedla, rozporu a spodní části šachty jsou pro vyzdívku velmi těžké podmínky, a proto byly používány různé vyzdívky. V současnosti se tyto části vysoké pece opatřují velmi účinným chlazením měděnými chladnicemi. Chladnice se nastříkají dočasnou žáruvzdornou hmotou. Vlivem intenzivního chlazení se na měděných chladících deskách vytvoří nasazenina (garnisáž), která má lepší vlastnosti než používaná vyzdívka.

10.1 Vyzdívání dna a nístěje

O délce kampaně vysoké pece rozhoduje životnost nístěje, jež je limitována hlavně způsobem a kvalitou vyzdívky a chlazení vysoké pece. Vyzdívka nístěje vysoké pece musí :

- zabránit protavení stěny nístěje
- zajistit nepřetržitou práci nístěje
- omezit ztráty tepla tak, aby neovlivnily metalurgické děje v nístěji

V České republice se dlouhé období používala nístěj vyrobená pēchováním uhlíkaté výdusky. Výduska se skládala z pomletého koksu, grafitu a dehtu. Za stálého zahřívání, pomocí plynových hořáku, se namíchána směs pēchovala zpočátku ručně, později mechanickými pēchovadly postupně, po vrstvách, až se vyplnil celý objem vyzdívky dna a nístěje, jako monolitický blok.

I když s pēchovanými nístějemi byly v České republice poměrně dobré zkušenosti, technologický vývoj tento způsob překonal a dnes se prakticky všechny vysoké pece vybavují nístějemi z uhlíkových a grafitových bloků.

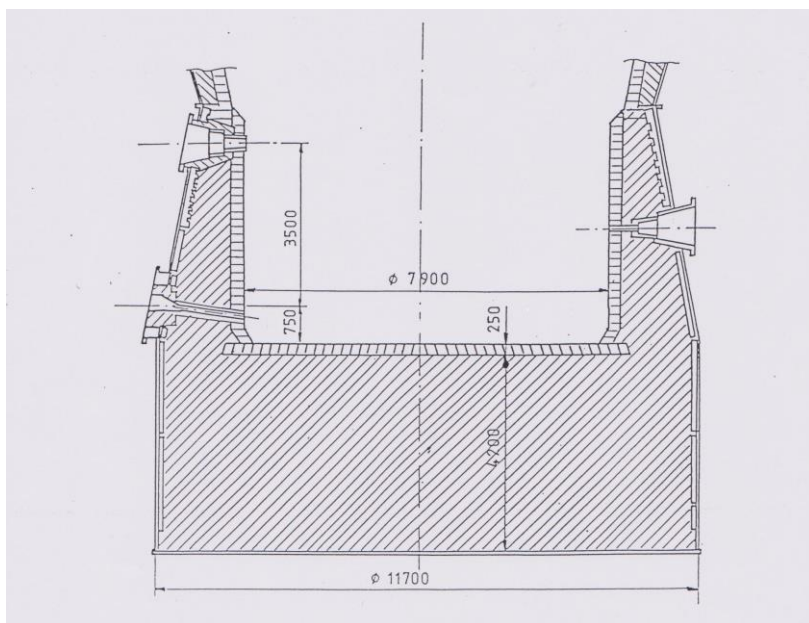
Hlavní nevýhody dusaných nístějí :

- Relativně nízká tepelná vodivost výdusky (velká výška dna vysoké pece)
- Velká pracnost v zdravotně závadném prostředí
- Nerovnoměrná kvalita výdusky (neřízena grafitizace v průběhu provozu VP).

Příklad pēchované nístěje je na obr. 43.

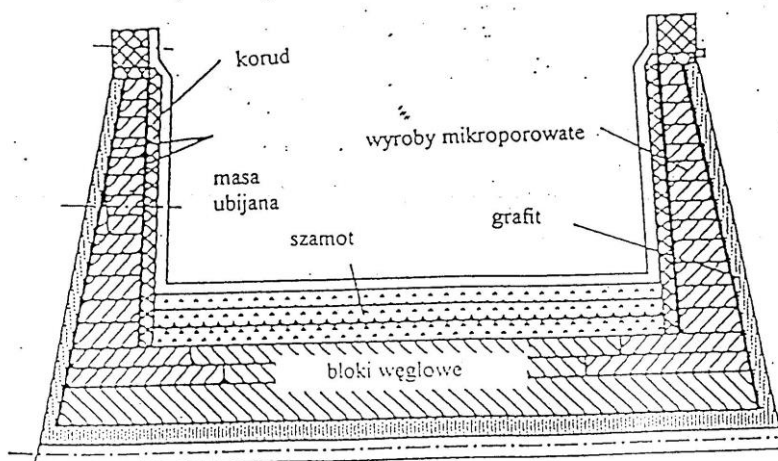
Výhoda grafitových a uhlíkových bloků spočívá v tom, že je napřed známá jejich tepelná vodivost, což umožňuje umísťovat jednotlivé bloky podle potřebné intenzity chlazení, větší tepelná vodivost, která umožňuje zmenšit tloušťku vyzdívky a jednodušší instalace vyzdívky nístěje. Nevýhoda existence spár mezi jednotlivými bloky se minimalizuje velkou přesností při jejich výrobě. Z důvodu zlepšení funkce a životnosti grafitových a uhlíkových bloků se

jejich povrch v současnosti upravuje snížením pórovitosti. Do povrchu uhlíkových nebo grafitových bloků se vtírá velmi jemně rozemletý materiál, který vyplňuje otevřené póry, tím se snižuje kontaktní plocha mezi taveninou a vyzdívkou a snižuje se možnost její eroze. V USA se používají bloky podstatně menších rozměrů, u kterých se pórovitost snižuje tak, že se jednotlivé bloky za vysokých teplot lisují, čímž se póry na povrchu uzavírají. Výrobky takto upravené se označují jako mikropórovaté.

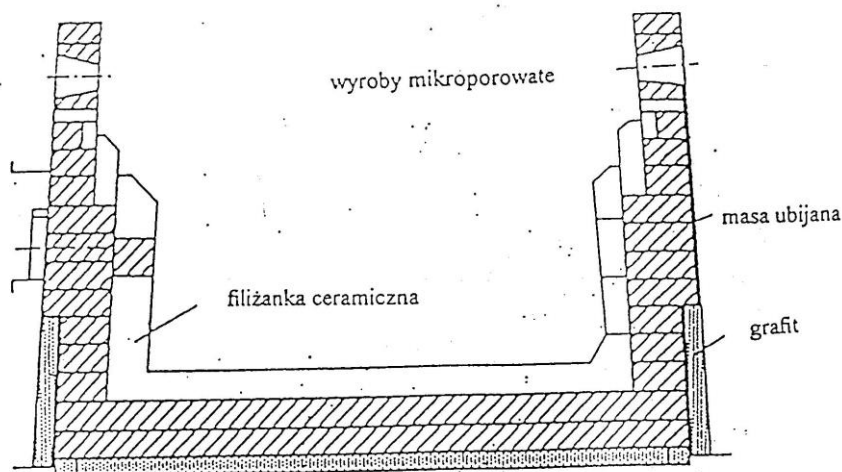


Obr. 43 : Pěchovaná nístěj používána v České republice

Příklady současných způsobů vyzdívání dna a nístějí vysokých pecí jsou uvedeny na obr. 44 a 45.



Obr. 44 : Konstrukce dna a nístěje vysoké pece Schwelgerm 2

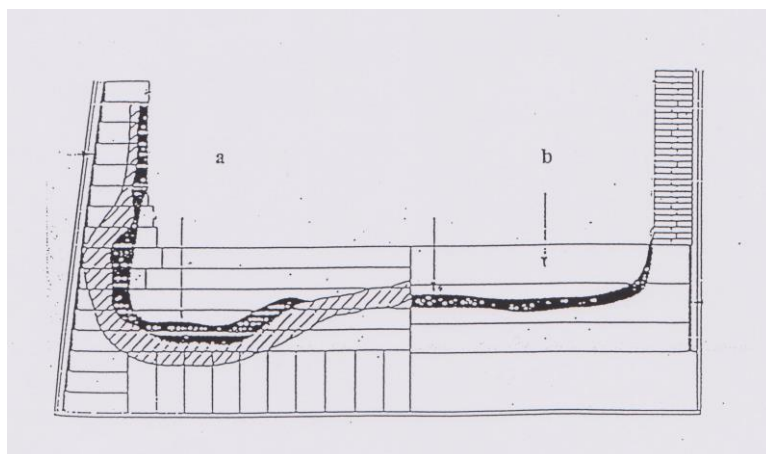


Obr. 45 : Konstrukce dna a nístěje vysoké pece č. 2 v huti Bremen

Přes veškerou snahu o zajištění jakosti povrchu vyzdívky dochází k opotřebení a poškození vyzdívky dna a stěn nístěje. Mezi nejčastější příčiny opotřebení patří :

- Pronikání tekutého železa do vyzdívky
- Rozpouštění uhlíku nístěje
- Působení alkálií
- Oxidace uhlíku vyzdívky

Na obr. 46 jsou zobrazeny dva typické způsoby opotřebení nístěje. Opotřebení „a“ je typické pro větší vysoké pece a bývá označeno jako „sloní noha“.

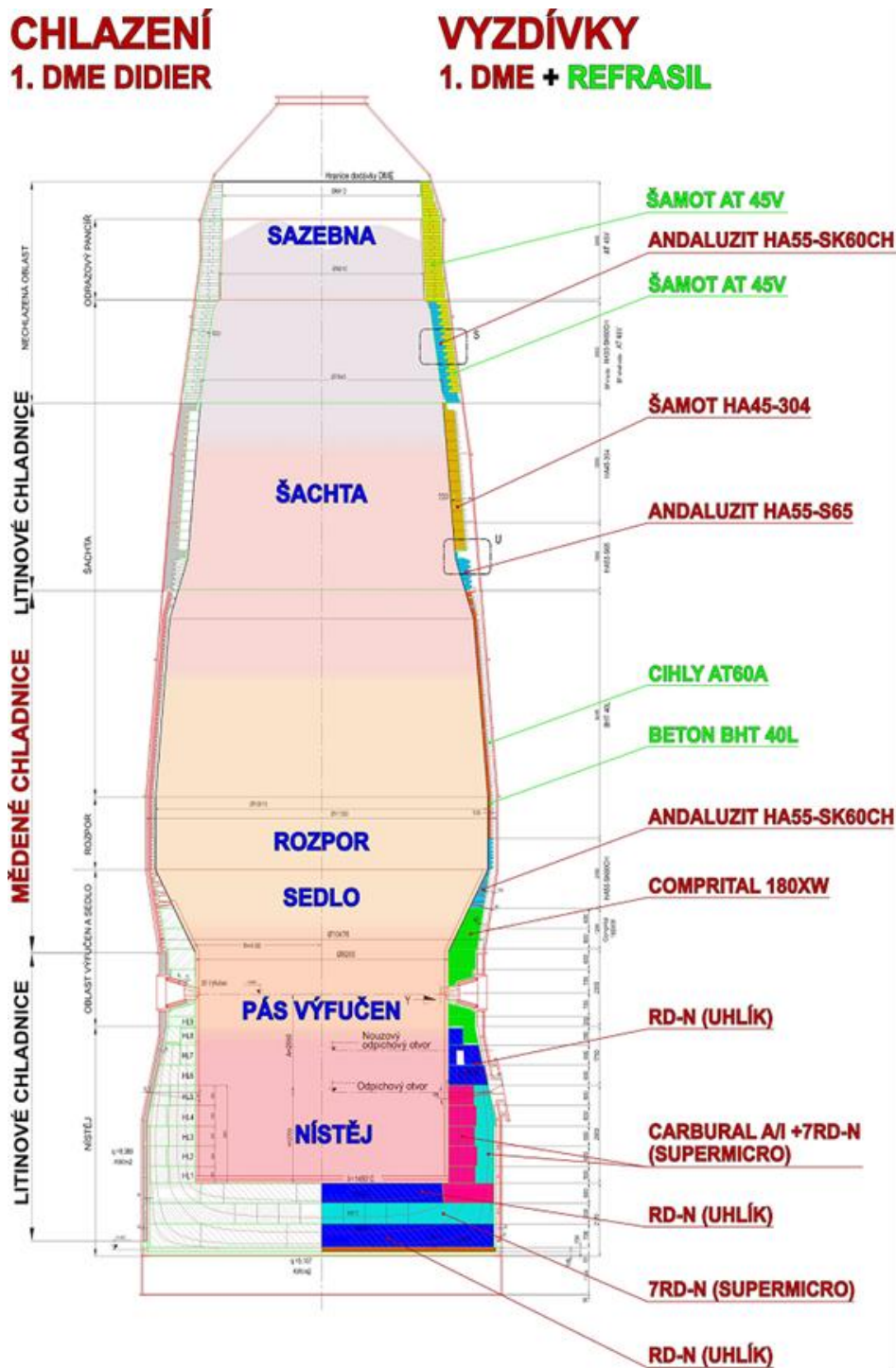


Obr. 46 : Opotřebování dna a spodní části nístěje vysoké pece

Opotřebení je hlavně v rozích nístěje kde vlivem toho sloupec koksu (mrtvý muž) před odpichem surového železa plave a po odpich si sedne na dno, vzniká v rozích volný prostor,

kterým intenzivně proudí surové železo. Vlivem toho dochází k vymílání uhlíku vyzdívky a k opotřebování. Druhý způsob opotřebení „b“ je typický pro menší (i české) pece kde mrtvý muž neplave, ale celý čas spočívá na dnu VP.

Schéma profilu a vyzdívky vysoké pece přináší obr. 47.



Obr. 47 : Profil a vyzdívka vysoké pece v České republice

Přechod českých vysokých pecí od pýchovaných nístějí k vyzdívání bloky umožnilo snížit výšku dna vysoké pece a zvýšit hloubku mrtvého prostoru (popelníku). To spolu s lepším chlazením dna nístěje přispělo ke stabilizaci tepelných a hydrodynamických poměrů v nístěji a vytváří předpoklad pro delší kampaň vysoké pece.



Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- odolnost proti otěru, zinku, alkáliím;
- odolnost proti působení železa a strusky;
- tepelná vodivost;
- sialonové a dusíkové pojivo;
- uhlíková výduska;
- uhlíkové a grafitové bloky;
- opotřebení dna a stěn nístěje VP



Otázky:

1. Jaký účel plní vyzdívka ve vysoké peci?
2. Které vlastnosti vyzdívky se požadují pro vyzdívání šachty
3. Které vlastnosti vyzdívky se požadují pro vyzdívání nístěje.
4. Co znamená výraz“Sialon“
5. Čím se vyzdívá dno a nístěj vysoké pece;
6. Jaké jsou výhody a nevýhody pýchovaných nístějí?
7. Jaké jsou výhody a nevýhody blokových nístějí?
8. Co se označuje pojmem “sloní noha“?



Doporučena a použita literatura :

1. Brož, L.-Bilík,J.- Kret,J. :Vysokopecní výroba surového železa, VŠB –TU Ostrava,1985, 231 s.
2. Babich,A. a kol. : IRONMAKING, Aachen,2008, 402 s., ISBN 3-86130-997-1
3. KRÓL, L.: Konstrukcja i urzadzenia wielkiego pieca. Slask – Katowice, 480 s

11 CHLAZENÍ VYSOKÉ PECE

Členění kapitoly:

- Rozdělení chladících systémů;
- Chladicí systém horizontální;
- Chladicí systém vertikální;
- Kombinovaný chladicí systém.
- Chlazení dna vysoké pece
- Odparné chlazení



Čas potřebný ke studiu: 60 minut



Cíl: Po prostudování této kapitoly

- pochopíte výhody a nevýhody jednotlivých chladících systémů;
- obeznámíte se s konstrukcí chladících prvků;
- poznáte zvláštnosti chlazení dna vysoké pece;
- budete znát výhody odparného chlazení;



Výklad

Na způsobu a kvalitě chlazení závisí životnost vysokopecní vyzdívky. Chladí se celá vysoká pec od jejího dna až po horní část šachty. Kromě vyzdívky se chladí i bezzvonová sazebná, výfučny a horkovětrné šoupátka. V minulosti se chladila i strusková výpušť.

Chladicí systémy je možno rozdělit :

Podle chladícího média :

- průtokový otevřený
- průtokový uzavřený
- odpařovací chlazení
- chlazení dna vodní, vzduchové, olejové

Podle používaných chladících prvků

- povrchové chlazení otevřené
- povrchové chlazení v uzavřených chladících skříních (dvojitým pláštěm)
- chladícími klíny
- chladícími deskami
- u dna – chladícími deskami, trubkami roštem

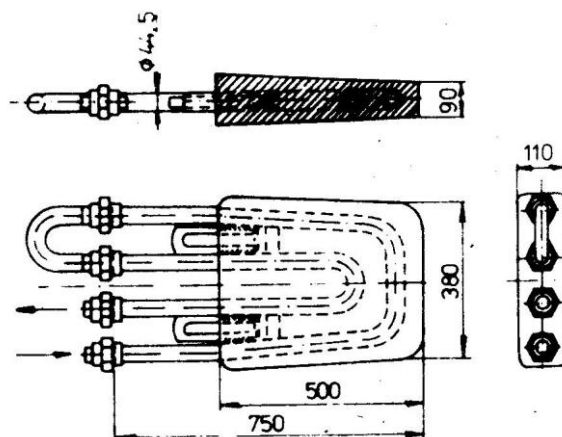
Chlazení vysoké pece může být jednopásmové (z jednoho zdroje) nebo dvoupásmové.

Podle typu chlazení a použitých chladících prvků rozeznáváme :

11.1 Chladicí systém horizontální (chlazení chladícími klíny)

Výhody horizontálního chladícího systému spočívají ve velkém chladícím povrchu (až 3 m²m⁻³vyzdívky), v možnosti snadné výměny chladících prvků, a v možnosti trvalejšího zachování projektovaného pracovního profilu pece. Jeho nedostatkem je jsou nedostatečná těsnost pecního pláště způsobená rozměrnými výřezy v plášti, zmenšení únosnosti pláště a zvýšené nebezpečí propalování armatur po opotřebenosti vyzdívky, nebo po uvolnění nasazenin.

Příklad konstrukce výměnného chladícího klínu je na obr. 48.

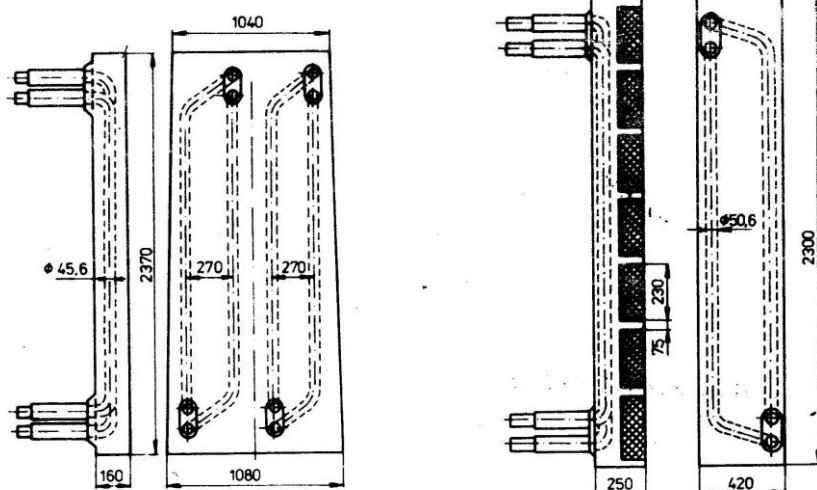


Obr. 48 : Výměnný litinový chladicí klín

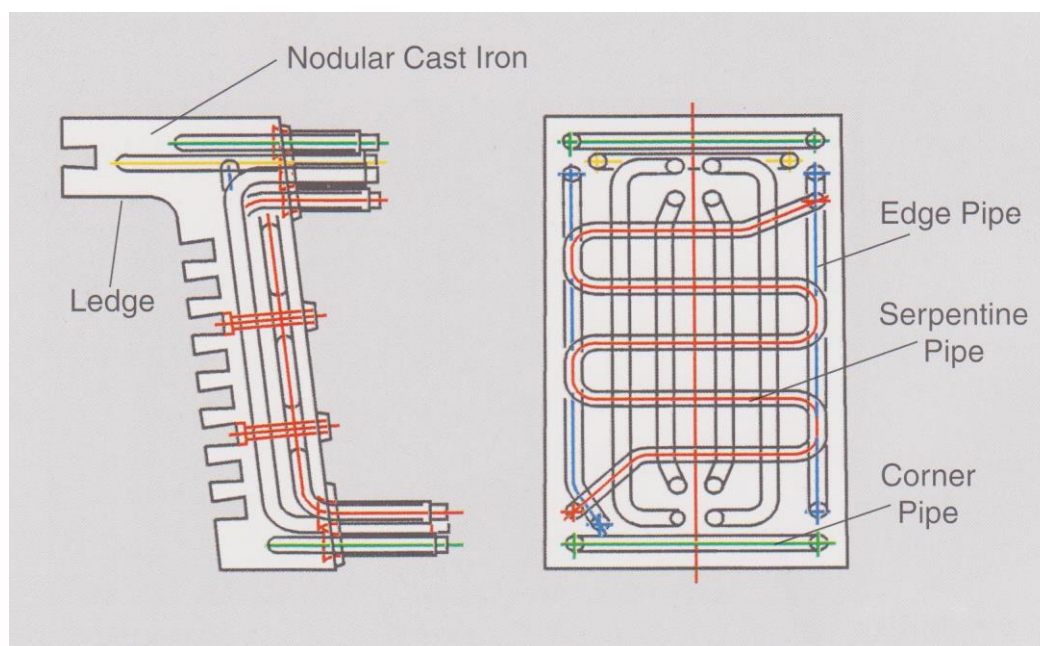
11.2 Vertikální systém chlazení (chlazení chladícími deskami)

U vertikálního chladicího systému se deskové chladnice umísťují na vnitřní straně pecního pláště. V plášti jsou jen otvory pro přívod a odvod vody, tak plášť není pevnostně zeslabován, ani neklesá jeho těsnost. Chladicí povrch je menší (kolem $2 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$ vyzdívky) Tento systém je vhodný pro vysoké pece pracující s vysokým tlakem na sazebně.

Klasické chladicí desky byly vyráběné z litiny, v současnosti se vyrábějí hlavně pro tepelně exponované oblasti z čisté mědi. Protože hůř drží vyzdívku, opatřují se někdy „nosem“ případně drážkami pro vyzdívku. Moderní chladnice mají samostatný okruh chladicí vody pro chlazení nosu, případně pro různé části chladicí desky. Chladicí desky jsou nevýměnné, v případě poruchy se vstup a výstup vody zaslepí a plášť se v tomto místě chladí povrchově. Kritickým místem je i přechod vstupní a výstupní trubky přes pecní plášť. Důsledkem tepelné dilataci může docházet k mechanickému poškození trubek. Příklady chladících desek jsou uvedeny na obr. 49 a 50.



Obr. 49 : Vertikální deskové chladnice různé konstrukce

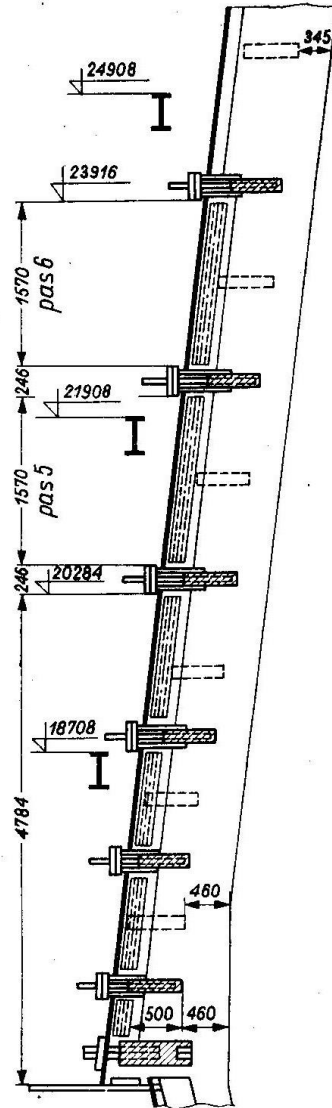


Obr. 50 : Schéma moderní deskové chladnice s nosem s drážkami pro zdivo

11.3 Kombinovaný systém chlazení

V současnosti se velmi často používá kombinovaného horizontálně-vertikálního systému, který v určitém stupni využívá výhody obou systémů.

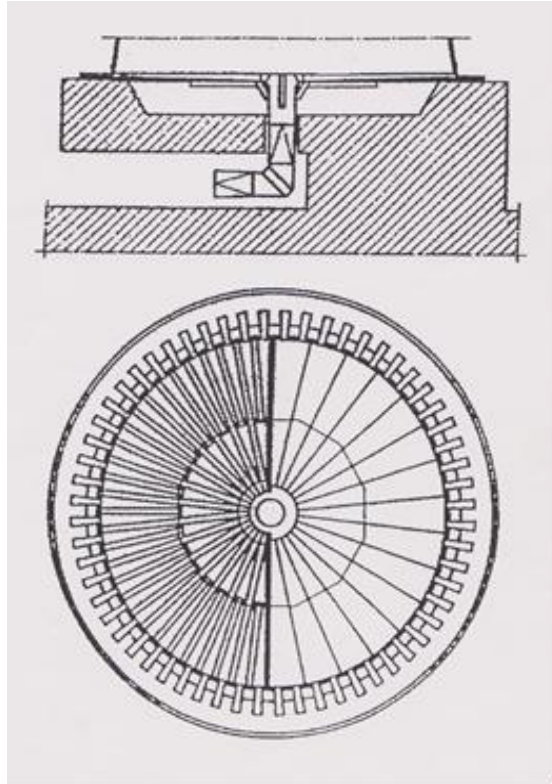
Na obr. 51 je uvedeno použití kombinovaného systému pro chlazení šachty vysoké pece.



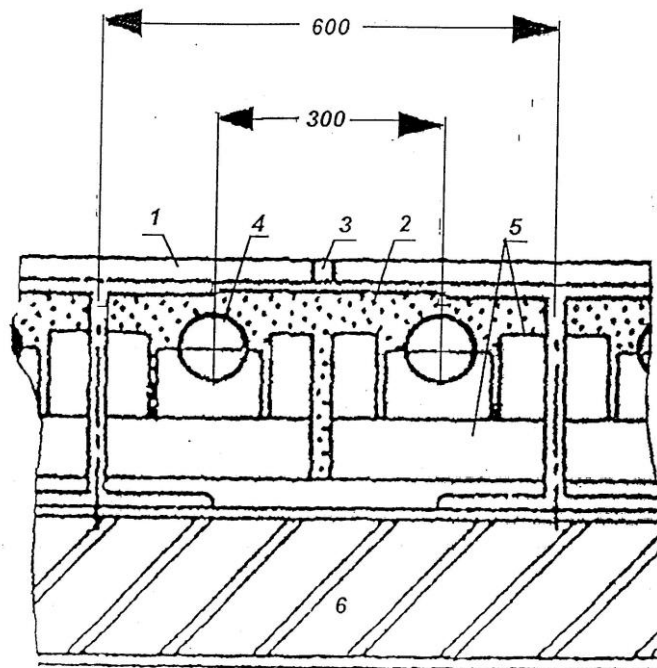
Obr. 51 : Kombinované chlazení šachty vysoké pece

11.4 Chlazení dna vysoké pece

V minulosti se dno vysoké pece chladilo obvykle vzduchem, protože byly obavy z propálení dna a při použití chladicí vody z exploze vodíku. Taktéž se používalo dvouvrstvého chlazení – horní část vzduchem, nebo olejem spodní část vodou. Dnes se používá chlazení vodou, pomocí trubek, roštů nebo chladnic. Příklady chlazení dna vysoké pece jsou uvedeny na obr. 52 a 53.



Obr. 52 : Chlazení dna vysoké pece podle konstrukce Gipromez



Obr. 53 : Moderní způsob chlazení dna vysoké pece

11.5 Odparné chlazení

Podstatou odparného chlazení je zahřívání chladicí vody v chladících prvcích až na teplotu jejího varu. Umožňuje to využít alespoň částečně skupenského tepla vody ($2440 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$). Spotřeba vody se u odparného chlazení mnohonásobně sníží. Při průtočném chlazení se voda v chladících prvcích ohřívá jen asi o $5 \text{ }^\circ\text{C}$, aby se zabránilo vylučování kotelního kamene. Znamená to, že 1 kg vody odnáší jen asi 21 kJ . V případě odparného chlazení při vstupní teplotě 20°C odnese 1 kg vody následovní množství tepla :

$$Q = 4,1868(100 - 20) + 2440 = 2775 \text{ kJ}$$

To je 132krát více než u průtočného chlazení. Ve skutečnosti se v chladícím elementu odpaří jen část vody a voda oběhne v okruhu několikrát, takže množství odneseného tepla je menší. Přesto je spotřeba vody při odparném chlazení jen zlomkem spotřeby u chlazení průtočného. Pokud by se voda v systému ohřívala na více než $100 \text{ }^\circ\text{C}$, dala by se energie přehřáté páry využívat v kondenzační turbíně k výrobě elektrického proudu. Systém by však musel pracovat v přetlakovém režimu, což nese riziko vnikání velkého množství páry do vysoké pece v případě prasknutí trubky v chladnici a možnost exploze.

Nutnou podmínkou odpařovacího chlazení je však chemická úprava vody a její odkysličení. Systém odparného chlazení se liší od průtočného i možnostmi autoregulace chlazení na stejnou intenzitu, neboť při vzrůstu tepelného zatížení se samočinně zvětšuje i množství vypařené vody.

Odparného chlazení se využívá jen pro chlazení některých částí vysoké peci a k chlazení horkovětrných armatur. V některých případech může odparné chlazení chladit až příliš, což může narušovat metalurgické děje v peci.



Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- chladící klíny;
- chladící desky;
- chladící rošt;
- průtočné chlazení;
- odparné chlazení;
- kondenzační turbína;



Otázky:

1. Jaké jsou výhody horizontálního chlazení ?
2. Jaké jsou výhody vertikálního chlazení?
3. Z jakého materiálu se vyrábějí chladnice?
4. Jak se chladí sedlo a rozpor vysoké pece?
5. Jaké jsou výhody odparného chlazení?



Doporučena a použita literatura :

1. Brož, L.-Bilík,J.- Kret,J. :Vysokopeční výroba surového železa, VŠB –TU Ostrava,1985, 231 s.
2. Babich,A. a kol. : IRONMAKING, Aachen,2008, 402 s., ISBN 3-86130-997-1
3. KRÓL, L.: Konstrukcja i urzadzenia wielkiego pieca. Slask – Katowice, 480 s.

12 DRUHY SUROVÝCH ŽELEZ

Členění kapitoly:

- Jakost vyráběného surového železa
- Tradiční rozdělení surových želez
- Surové železa podle evropské normy
- Speciální surové železa



Čas potřebný ke studiu: 60minut



Cíl: Po prostudování této kapitoly

- pochopíte pojem jakost surového železa;
- seznámíte se se základními druhy vyráběných surových želez;
- pochopíte koncepci a strukturu nové evropské normy o rozdělení surových želez;



Výklad

12.1 Surové železo

Pod pojmem surové železo se rozumí slitina železa a uhlíku s obsahem uhlíku nad 2 %, která obsahuje prvky v množství stejném nebo nižším než je uvedeno v normě. V České republice v současnosti platí norma ČSN EN 10001 (420041), která je identická s EN 10001/1990 a je vydána se souhlasem CEN. Surové železo je určeno k dalšímu přepracování v tekutém stavu na ocel nebo litinu. Surové železo je dodáváno buď v tekutém stavu, nebo

v tuhém stavu ve formě housek nebo jiných podobných výrobků, popřípadě ve formě granulátu.

Podle chemického složení se surová železa dělí na nelegovaná a legovaná.

Nelegovaná surová železa se podle dalšího zpracování rozdělují na surová železa ocelářská, surová železa slévárenská a další nelegovaná surová železa.

Ocelářská surová železa se dále dělí na surová železa s nízkým obsahem fosforu a s vysokým obsahem fosforu.

Slévárenská surová železa se dělí na železa obyčejná, pro která se nedoporučuje užívat různé tradiční názvy jako železa s nízkým, středním či vysokým obsahem fosforu, hematit, Cleveland apod., ale zkratk daných normou jako Pig-P1 Si, Pig-P3 Si, Pig-P6 Si, Pig-P12 Si a Pig-P17 Si, dále na železa s kuličkovým grafitem, železa s kuličkovým grafitem a vyšším obsahem manganu a na železa s nízkým obsahem uhlíku.

Legovaná surová železa se dělí na zrcadlovinu a další legovaná železa.

Na českých vysokopečních závodech se v praxi ještě stále užívá tradičního dělení surových želez na surová železa ocelářská, slévárenská a speciální.

Orientační složení ocelářského surového železa:

C - 4,5 %

Mn - pod 1 %

Si - pod 1 %

S - pod 0,03 %

P - pod 0,2 %

V jednotlivých výrobních závodech se vyráběné surové železo dále dělí na jakostní třídy podle obsahu síry. Např. Třída I - S < 0,01

Třída II - S < 0,02

Třída III - S < 0,03

Podniková norma dále obvykle určuje maximální obsah dalších prvků podle výrobního sortimentu podniku (např. –Cr, P, Cu, Mn, Ti apod.)

Orientační složení slévárenského surového železa:

Slévárenské surové železo obyčejné :

C - 4,3 %

Mn - pod 1 %

Si - 1,6 – 4,2 %

S - pod 0,03 %

P - pod 0,2 %

Dále se vyrábějí „slévárenské speciály“ studené, nebo teplé podle požadovaného obsahu Si, nebo Mn. Často se vyrábí nízkofosfornaté slévárenské surové železo – hematit, které má velmi nízký obsah fosforu (do 0,1 %). Ojedinele se ve vysokých pecích vyrábí feromangan.

V možnostech vysokopecních závodů je dodávat surová železa podle požadavků odběratelů. Speciální požadavky na jakost surového železa však vyžadují speciální složení vysokopecní vsázky, což se projeví v ceně vyráběného surového železa. Rozdělení a označení surových želez podle chemického složení dle evropské normy přináší tab. II.

Tab. II Rozdělení a označení surových želez podle chemického složení dle evropské normy

1	2		3	4	5	6	7	8	9
Č.	Druhy surových želez		Zkratka	%C _{celk}	%Si	%Mn	%P	%S _{max} x	Ostatní
	Označení								
1.1	Železa ocelářenská	s nízkým obsahem fosforu	Pig-P2	(3,3 až 4,8)	≤ 1,0 ²⁾	0,4 až 6,0 (0,5 až 1,5)	≤ 0,25	0,06	
1.2		s vysokým obsahem fosforu	Pig-P20	(3,0 až 4,5)		≤ 1,5	1,5 až 2,5	0,08	
2.1	nelegovaná Železa slévárenská	4)	Pig-P1 Si	(3,3 až 4,5)	1,0 až 4,0 ²⁾ (1,5 až 3,5)	0,4 až 1,5 ²⁾	≤ 0,12	0,06	3)
2.2			Pig-P3 Si				> 0,12 až 0,5		
2.3			Pig-P6 Si				> 0,5 až 1,0 (> 0,5 až 0,7)		
2.4			Pig-P12 Si				> 1,0 až 1,4		
2.5			Pig-P17 Si				> 1,4 až 2,0		
3.1	Železa slévárenská	s kul. grafitem	Pig-Nod	(3,5 až 4,6)	≤ 3,0 ²⁾	≤ 0,1	≤ 0,08	0,03	3) 6)
3.2		s kuličkovým grafitem a vyšším Mn ⁵⁾	Pig-Nod Mn		≤ 4,0 ²⁾	> 0,1 až 0,4 ²⁾			
3.3		s nízkým obsahem uhlíku	Pig-LC		> 2,0 až 3,5	≤ 3,0 ²⁾			
4.0		další neleg. žel.	Pig-SPU	7)					
5.1	Legovaná	zrcadloviná	Pig-Mn	(4,0 až 6,5)	max. 1,5	> 6,0 až 30,0 ²⁾	≤ 0,30 (≤ 0,20)	0,05	3)
5.2		další leg. železa	Pig-SPA	8)					

- ¹⁾ Čísla mimo závorky jsou určující pro rozdělení surových želez. Čísla v závorkách uvádějí orientační meze, v nichž se zpravidla vyskytují skutečné obsahy daného prvku.
- ²⁾ V důsledku rozdělení podle obsahů daného prvku se druhy surových želez zpravidla dále dělí na různé jakosti.
- ³⁾ Pro jiné legovací prvky není stanoven žádný minimální obsah. Nicméně ale podle druhu použitých surovin může např. surové železo neúmyslně obsahovat jiné prvky, než jaké jsou uvedeny ve sloupcích 4 až 8, a to v procentuálním objemu, který může dosáhnout pro určité prvky až 0,5%. Takovéto nahodilé obsahy prvků nejsou rozhodující pro rozdělení surového železa.
- ⁴⁾ Pro tyto druhy želez se často používá nejrůznější termíny jako „s nízkým obsahem fosforu, se středním obsahem fosforu, s průměrným obsahem fosforu, s vysokým obsahem fosforu, normální hematit a semi-hematit, Cleveland, apod.“, a často s různým významem. Nedoporučuje se používat tyto termíny na mezinárodní úrovni a jako označení používat výhradně zkratky uvedené ve sloupci 3.
- ⁵⁾ Používá se zpravidla pro perlitickou litinu s kuličkovým grafitem nebo pro temperovanou litinu.
- ⁶⁾ Tyto jakosti surového železa jsou kromě jiného charakterizovány nízkým obsahem prvků, které narušují tvorbu kuličkového grafitu nebo tvorbu karbidů, podle toho, k jakému účelu je surové železo určeno.
- ⁷⁾ Tento druh zahrnuje surová železa, která nepatří ke druhům 1.1 až 3.3 ani 5.1 nebo 5.2.

⁸⁾ K „dalším legovaným surovým železům“ patří:

- a) surová železa s obsahem Si mezi 4,0 až 8,0%
 - b) surová železa s obsahem Mn mezi 6,0 až 30,0%, který netvoří zrcadlovinu (viz. druh 5.1)
 - c) surová železa, v nichž alespoň jeden prvek, uvedený ve sloupcích 4 až 8, dosahuje specifikovaného minimálního obsahu
 - d) surová železa, v nichž alespoň jeden z níže uvedených prvků dosahuje uvedenou výši obsahu (viz. poznámka 3)
 - Cr \geq 0,3 až do 10%
 - Mo \geq 0,1
 - Ni \geq 0,3
 - Ti \geq 0,2
 - V \geq 0,1
 - W \geq 0,1
- } až do součtu celkového obsahu do výše 10%, uvedeného v tabulce 1 pro „jiné legury.“

Tab. III Označení surových želez

Č.	Typ Zkratka ¹⁾	Česky		Anglicky		Německy	
1.1	Pig-P2	Ocelářensk á surová železa	S nízkým obsahem fosforu	Steel- making pig- iron	Low phosphoru s	Stahlroheise n	Phosphorarm
1.2	Pig-P20		S vysokým obsahem fosforu		High phosphoru s		Phosphorreich
2.1	Pig-P1 Si	Slévářensk á surová železa	2)	Unalloyed Foundr y pig- iron	2)	Unlegiert	Giesserei- roheisen
2.2	Pig-P3 Si						
2.3	Pig-P6 Si						
2.4	Pig-P12 Si						
2.5	Pig-P17 Si						
3.1	Pig-Nod	S kuličkový m grafitem	Nodular (SG) base	Giesserei- roheisen	Sphäro		
3.2	Pig-Nod Mn	S kuličkový m grafitem a vyšším Mn ³⁾	Nodular (SG) base higher manganese		Sphäro - Mn		
3.3	Pig-LC	S nízkým obsahem uhlíku	Low carbon		Kohlenstoffar m		
4.0	Pig-SPU	Další nelegovan á železa	Other unalloyed pig-iron	Sonstiges unlegiertes Roheisen			
5.1	Pig-Mn	Zrcadlovín a	Spiegel iron	Spiegeleisen			
5.2	Pig-SPA	Další legovaná surová železa	Allowed	Other alloyed pig-iron	Legiert	Sonstiges legiertes Roheisen	

¹⁾ Viz. Rozdělení a označování surových želez podle chemického složení dle evropské normy
²⁾ Rozdělení a označování surových želez podle chemického složení dle evropské normy



Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- jakost surového železa;
- surové železo ocelářské;
- surové železo slévářské;
- denní výrobnost vysoké pece;
- koeficient využití užitečného objemu vysoké pece;



Otázky:

1. Jaké je složení ocelářenského surového železa?
2. Jaké je složení slévářenského surového železa?
3. Jaké druhy speciálních surových želez poznáte?
4. Jak se „přesazuje vysoká pec“ z výroby ocelářenského surového železa na výrobu slévářenského surového železa?
5. Jak se rozdělují surová železa podle nové evropské normy?



Doporučena a použita literatura :

1. Brož, L. Teoretické základy výroby železa, SNTL/ALFA, Praha,1975,404 s.
2. Definice a rozdělení surových želez, ČSN, EN 10001 (420041), 1994

13 EKOLOGICKÉ ASPEKTY VÝROBY SUROVÉHO ŽELEZA

Členění kapitoly:

- Škodlivé látky při výrobě surového železa ve vysoké peci
- Recyklace odpadů při výrobě surového železa;
- Odprašování aglomeračních a vysokopecních provozů
- Možnosti snižování emisí při vysokopecní výrobě surového železa
- Nejlepší dostupné techniky při výrobě železa (BAT)



Čas potřebný ke studiu: 120 minut



Cíl: Po prostudování této kapitoly

- budete znát škodlivých látek při výrobě surového železa;
- pochopíte možnosti recyklace odpadů ve vysokopecní výrobě železa ;
- seznámíte se se způsoby odprašování plynu a spalin při výrobě železa;
- získáte přehled o možnostech snižování nepříznivých vlivů výroby surového železa na znečišťování životního prostředí;
- seznámíte se s technologiemi, které jsou při výrobě železa v současnosti považovány z ekologického hlediska za nejlepší;



Výklad

13.1 Škodlivé látky při výrobě surového železa

Přesná exaktní definice škodlivých látek při výrobě surového železa není možná. Stejná látka může být v některých formách škodlivá v jiných ne (např. vliv chromu na zdraví člověka). Rovněž může stejná látka působit různě v různých fázích technologického procesu (např.

alkálie škodí vyzdívce a koksu, ale snižují viskozitu strusky). Některé látky nečiní při výrobě surového železa žádné potíže (např. fosfor), ale se považují za škodlivinu z důvodů narušování ocelářských pochodů následujících po výrobě surového železa. Škodlivost jednotlivých prvků a sloučenin ve vysokopecní výrobě se musí posuzovat komplexně na základě znalostí teorie výroby surového železa.

Škodlivé látky je možno rozdělit do následujících skupin :

1. Látky, které působí nepříznivě tím, že narušují průběh technologických procesů

Vysokopecní vsázka obsahuje řadu prvků, které ve formě různých sloučenin narušují průběh chemických, fyzikálních a tepelných procesů při výrobě surového železa. Typickými škodlivinami tohoto typu jsou sloučeniny narušující vyzdívku vysoké pece a způsobující vznik nasazenin a následných technologických poruch. Další látky zhoršují vlastnosti taveniny (viskozita, teplota tavení), nebo způsobují degradaci vysokopecního koksu.

2. Látky, které snižují jakostní parametry výrobků

Do této skupiny patří látky které nepříznivě ovlivňují chemické složení surového železa a strusky, jejich teplotu a fyzikální vlastnosti, hlavně viskozitu a teplotu tavení. Hlavně však zhoršují vlastnosti vyrobeného surového železa pro jeho další zpracování na ocelárnách, nebo ve slévárenství.

3. Látky, které poškozují životní prostředí a přírodu.

V jednotlivých fázích výroby surového železa dochází k úniku škodlivých látek do prostředí, které znečišťují ovzduší, půdu a vodu. Tyto látky potom fyzikálně, chemicky, nebo biologicky poškozují životní prostředí.

4. Látky, které přímo poškozují, nebo jinak nepříznivě ovlivňují zdraví člověka

Tyto látky by bylo možno zařadit i do skupiny 3. K poškozování zdraví může dojít buď přímo, přímo při obsluze technologických zařízení, nebo nepřímo znečišťováním prostředí.

Aglomerace

Aglomerace, anebo spékání železných rud, je zahřívání prachové aglomerační směsi (rudná část, palivo, přísady) na takovou teplotu, že dojde k natavení povrchu jednotlivých zrn vsázky a vzniklá tavenina vytvoří mezi zrny kapalinové můstky, které po ztuhnutí zajistí vznik

pevného pórovitého materiálu - aglomerátu. Celkově je možno aglomeraci rozdělit na tzv. studený úsek zahrnující výklopníky surovin, drcení, mletí třídění, skládky a homogenizaci surovin. Teplý úsek zahrnuje skladování a dávkování surovin, jejich míchání a předpeletizaci, vlastní spékací pás s příslušenstvím, drcení, třídění a chlazení vyrobeného aglomerátu. Patří sem i odsávací soustava s čištěním spalin.

Studený úsek znečišťuje životní prostředí většinou jen tuhými prachovými emisemi, které mají lokální charakter a spíše představují zdroj zhoršení pracovního prostředí než významný zdroj znečištění atmosféry.

Teplý úsek aglomerace je hlavním zdrojem znečištění životního prostředí při výrobě surového železa a je příčinou, že aglomerace je považována za největšího znečišťovatele v rámci celého hutnictví (bez energetiky). Spékání rud je pyrometalurgický proces založený na hoření prachového koksu obsaženého ve vsázce. Vzniklé spaliny mění své chemické složení podle průběhu chemických reakcí ve vsázce, strhávají drobné částičky vsázky a jsou odsávány přes odprašovací zařízení do komína. Množství tuhých znečišťujících látek vypouštěných do ovzduší závisí kromě technologických faktorů hlavně způsobem a účinností odlučovacího zařízení. Staré, mechanické odlučovače prachu - multicyklony, které se v minulosti používaly, nebyly schopny vyčistit spaliny z počáteční hodnoty znečištění 1 až 3 g.m⁻³ pod hodnotu 300 mg.m⁻³ spalin. Dále se používaly elektrostatické odlučovače prachu, které plnily v minulosti emisní limit pro tuhé znečišťující látky 100 mg.m⁻³. V současnosti platí emisní limit 50 mg.m⁻³, který klasické elektrostatické odlučovače prachu dosahovaly jen s velkými potížemi. Moderní aglomerační provozy jsou opatřeny speciálními tkaninovými filtry, které čistí aglomerační spaliny na hodnoty pod 20 mg.m⁻³.

Kromě tuhých znečišťujících látek je velmi důležité i chemické složení vypouštěných spalin. Když nepovažujeme za nečistotu CO₂, i když je to tzv. skleníkový plyn, má největší význam obsah CO ve spalinách. Z technologického principu procesu spékání vyplývá, že asi 20 % uhlíku koksu hoří na CO, zbytek na CO₂. Podíl CO v aglomeračních spalinách není tedy možné snižovat tak jako u energetických zařízení, proto by i emisní limity měly být různé. Určitou možností snižování obsahu CO ve spalinách je jejich recirkulace. Současný emisní limit pro obsah CO v aglomeračních spalinách je 6000 mg.m⁻³.

Další škodlivou látkou produkovanou při spékání je SO₂. Síra je do procesu spékání vnášena hlavně palivem (koksem), v menší míře ostatními složkami vsázky. V průběhu spékání se síra oxiduje až z 90% a přechází do spalin. Současný emisní limit je 400 mg SO₂ na m³ spalin.

Oxidační charakter spékání je příčinou vzniku další plynné škodliviny - NO_x. Emisní limit pro obsah NO_x ve spalinách je 400 mg.m⁻³.

Kromě uvedených škodlivých látek obsahují aglomerační spaliny celou řadu často velmi nebezpečných látek, množství kterých se však pravidelně nesledují. Patří k nim hlavně zinek, olovo, kadmium, rtuť, arzén, organické látky a mnoho dalších. Množství těchto škodlivin emitovaných do atmosféry závisí hlavně na obsahu odpadních, recyklovaných materiálů (vysokopecní a ocelářské kaly, zaolejované okuje apod.) v aglomerační vsázce. Plnění předpokládaného zpřísnění emisních limitů bude pro české aglomerační provozy za současných technických a technologických podmínek velkým problémem.

Tuhé odpady vznikající při výrobě aglomerátu nejsou ekologickým problémem. Asi 20 až 40 % vyrobeného aglomerátu má zrnitost pod 6,3 mm a není vhodný pro vysokou pec. Tento tzv. vratný aglomerát se po třídění plně vrací do aglomerační vsázky. Taktéž materiál zachycený v odlučovačích prachu ze spalin a z chlazení aglomerátu se plně recykluje. Naopak, do aglomerační vsázky se přidává značné množství různých odpadů z hutnických i jiných technologií ve formě odprašků, kalů nebo strusky. Odpadní vody nepředstavují na aglomeraci zvláštní problém, protože se používá suchých způsobů odprašování. Voda z hydrosmyvů, případně z chlazení vratného aglomerátu se po usazení nerozpustných látek znovu používá.

Peletizace

Peletizace je úprava kusovosti jemnozrnných materiálů sbalováním do tvaru kuliček. Přitom se zásadně mění i vlastnosti sbalovaných materiálů. Vsázka pro peletizaci neobsahuje palivo ani při vysokoteplotním zpevňování. Jako paliva se obvykle používá zemního plynu. Výroba pelet má 2 fáze :

- Výroba surových pelet (sbalků)
- Zpevňování sbalků, které může být vysokoteplotní (vypalování) nebo nízkoteplotní (chemicko-katalytické), pomocí pojiv.

Surové sbalky se vyrábějí v peletizačních bubnech nebo v peletizačních mísách. Peletizační bubny mají větší výrobnost, ale vyžadují třídění produktů. Rozhodující vazební silou při peletizaci jsou kapilární síly a vazné síly pojiva. Peletizační závody obvykle bez problémů recyklují vlastní prachové odpady. Jako technologie pracující s velmi jemnozrnnými materiály a využívající spalování zemního plynu jako zdroje energie však patří mezi významné znečišťovatele ovzduší. Peletizace, jako kompletní technologie se v současnosti v České republice průmyslově nepoužívá (dovážejí se pelety ze zahraničí).

Vysokopecní výroba

Vysokopecní provoz znečišťuje životní prostředí podstatně méně než příprava vysokopecní vsázky. Vysoká pec i ohřívače větru jsou konstruované uzavřené, jako tlakové nádoby, proto jsou možnosti emisí omezené.

Tuhé prachové emise vznikají hlavně při manipulaci se vsázkovým materiálem, tj. při dopravě, skladování, třídění a dávkování surovin. Tyto prostory jsou odprašovány mechanickými, nebo elektrostatickými odlučovači. Dalším zdrojem prachových i plyných emisí je sazebná vysoké pece. Bezzvonová i zvonová sazebná obsahuje prostor, který je střídavě spojený s atmosférou a s pecním prostorem. Objem tohoto prostoru naplněného znečištěným vysokopecním plynem se u starších vysokých pecí v pravidelných intervalech odpouštěl do vzduchu. U moderních pecí se tento plyn přečerpává do plynového řádu. Nepravidelným zdrojem emisí vysokopecního plynu je jeho odfuk. Tento se provádí při poruchách, opravách a odstávkách vysoké pece. Netěsnosti sazebního zařízení jsou poslední možností úniku vysokopecního plynu na sazebně. Produkce vysokopecního plynu může dosahovat až 2000 m³ na tunu vyrobeného surového železa a obsah prachu při výstupu z pece je až 30 gramů na 1 m³ plynu. Celkové množství vysokopecního plynu, které unikne sazebnou do atmosféry se odhaduje na 0,1 až 0,4 % vyrobeného plynu. Protože vysokopecní plyn obsahuje víc než 20 % CO, musí být ventily pro odfuk opatřené spalovacím zařízením.

Odlévárna vysoké pece je dalším zdrojem tuhých emisí. Při vypouštění surového železa a strusky vznikají nad žlaby tepelné vzduchové proudy, které unášejí tuhé a plyné emise. Moderní vysokopecní závody mají žlaby zakryté s odsáváním plynů a následným odlučováním prachu.

Na licím stroji se tekuté surové železo odlévá do tvaru housek, které se dále expedují po železnici. Při tomto procesu vznikají vlivem tepelných vzduchových proudů též tuhé prachové emise. Emisní limit pro tuhé znečišťující látky ve vysokopecním provozu je 100 mg.m⁻¹.

Plynné emise při ohřevu vysokopecního větru jsou typické pro spalovací procesy. Jako palivo se používá směsného plynu. Obsah CO₂, CO, SO₂ a NO_x v plynu opouštějícím komín ohřívačů větru závisí na podílu koksárenského plynu, na teplotě větru a technologických parametrech.

Odpadní vody ve vysokopecní výrobě surového železa vznikají při chlazení vysoké pece, při čištění vysokopecního plynu a při granulaci strusky. Na chlazení vysoké pece o užitečném objemu 2400 m³ a horkovětrných armatur se spotřebuje až 3000 m³ vody za

hodinu. Ohřátá voda se chladí v chladicích věžích, filtruje se a znovu se používá. Odparné chlazení podstatně snižuje spotřebu vody, vyžaduje však chemickou úpravu vody.

Čištění vysokopečního plynu probíhá většinou ve 3 stupních. První stupeň je suchý, v prašníku a nepotřebuje vodu. Druhý stupeň ve vodních pračkách a třetí stupeň ve Venturiho pračkách spotřebuje 5 až 6 m³ vody na 1000 m³ plynu. Použitá voda se musí upravovat v usazovacích nádržích a částečně i chemicky.

Tekutá vysokopeční struska o teplotě asi 1450 °C se granuluje většinou mokrým způsobem, kdy se horká struska lije do vody a prudkým ochlazením dochází k její granulaci. Znečištěná voda obsahuje nerozpustné látky, které se musí odstranit. Při granulaci dochází k značné ztrátě vody odpařením, rozstříkem a přechodem do granulátu. Tyto ztráty vody dosahují až 1 m³ na tunu strusky.

Ve vysokopečním procesu vzniká značné množství odpadů. Tradičně se za nejdůležitější vysokopeční odpad považuje vysokopeční struska. V současnosti se celý výskyt vysokopeční strusky zpracovává, takže nejde o typický odpad. V důsledku zvýšení bohatosti vysokopeční vsázky v posledních letech poklesl měrný výskyt strusky z 600 kg.t⁻¹ na asi 430 kg strusky na tunu vyrobeného surového železa.

Produktem čištění vysokopečního plynu jsou kromě vyčištěného plynu dva druhy odpadu. Vysokopeční výhoz je produktem hrubého čištění plynu v prašníku, kde se zachytí až 70 % prachových částic. Jedná se o suchý prachový odpad s poměrně vysokým obsahem uhlíku a nízkým obsahem škodlivin (Pb, Zn, Cd atd.). Veškerý výskyt vysokopečního výhozu se bez problémů zpracovává na aglomeraci. Druhým odpadem je vysokopeční kal, který je produktem polojemného a jemného čištění vysokopečního plynu. Vysokopeční kal obsahuje vyšší množství škodlivin, hlavně zinku, olova, kadmia a alkálií. Z tohoto důvodů se vysokopeční kal recykluje jen částečně.

Moderní trendy ve výrobě surového železa spočívají ve snižování celkové energetické náročnosti procesu, a hlavně v náhradě koksu jinými palivy. V současnosti je to hlavně dmýchání prachového uhlí do výfúčen vysoké pece, které může nahradit až 200 kg koksu na 1 tunu surového železa. Technologie injektáže materiálů do nístěje vysoké pece je možno využít i k ekologickým účelům, např. k dmýchání zaolejovaných okují, odpadních plynů, olejů, nebo plastů

13.2 Recyklace odpadů v hutním závodě

Suroviny, paliva a různé přísady obsahují škodlivé látky, které nepřecházejí do výrobku a jsou zachycovány při čištění plynů a vod, nebo přímo v rafinačních technologiích (strusky). Další škodlivé látky vznikají při chemických a fyzikálních procesech jednotlivých technologií. Nedokonalost technologických postupů je příčinou, že při čištění se zachytává i značné množství užitečného kovu. Je přirozenou snahou vrátit užitečný kov zpět do technologického cyklu a škodliviny koncentrovat v množství a formě, která dovoluje jejich zpracování v hutí, nebo v jiných oborech průmyslu. Látky, které jsou v jednom oboru škodlivinou jsou v jiném oboru základní surovinou, např. neželezné kovy v oboru hutnictví železa a naopak.

Recyklace plyných škodlivin se provádí buď změnou jejich skupenství (např. transformací oxidů síry na sádro), nebo změnou jejich formy na méně škodlivou (dospálení CO a uhlovodíků na CO₂ a vodní páru). Přitom se získává určité množství tepla co má sekundárně další kladný vliv na životní prostředí. Klasickým příkladem recyklace spalin je v posledním čase zaváděná recyklace aglomeračních spalin. Recyklací spalin dojde nejen k dospálení značného množství CO, ale i ke snížení obsahu prachu a jiných škodlivin. Využije se i tepelného obsahu spalin.

Hutnictví je mimořádně náročné na spotřebu vody. Voda se při chlazení, čištění plynů, nebo při technologických operacích znečišťuje a musí se proto upravovat. Hutní podnik má obvykle centralizované vodní hospodářství, které upravuje vodu k recirkulaci podle požadavků jednotlivých technologií, nebo ji vyčistí tak, aby splňovala podmínky pro vypouštění do vodních toků.

Největším problémem hutnické výroby jsou tuhé odpady. Vznikají většinou v technologickém cyklu (strusky), nebo při čištění odpadních plynů a vod (odprašky a kaly). Strusky s obsahem užitečného kovu (železa) se částečně vracejí na začátek technologického cyklu, ostatní se využívají většinou ve stavebnictví. Ostatní kovonosné odpady se většinou používají při výrobě daného kovu, lze je tedy považovat za druhotné suroviny. Takto se v hutnictví využívají i odpady z jiných průmyslových odvětví, jako je strojírenství, chemie a pod. Využívat tímto způsobem se však dají jen odpady, které obsahují určité, ohraničené množství látek škodlivých pro proces výroby daného kovu. Nevhodné odpady se proto skladují na skládkách nerecyklovatelných odpadů, které představují další zdroj znečišťování vzduchu a vod. Odpadů na takových skládkách je v České republice z minulosti obrovské množství, které se stále zvětšuje. Nemožnost využívat i v současnosti takovou částečnou recyklaci je možno ilustrovat na příkladu hutnictví železa. Suroviny dovážené do podniku představují i neustálý přísun látek škodlivých při výrobě železa a oceli. Jedná se hlavně o

neželezné kovy, síru, fosfor, alkálie atd. Při úplné recyklaci odpadních látek by množství těchto látek uvnitř technologického cyklu neustále rostlo, což není možné. Musí teda existovat ventil, kterým se část těchto látek z daného cyklu odpouští. V současnosti plní úlohu tohoto ventilu skládka nerecyklovatelných odpadů. Toto řešení však už současným podmínkám nevyhovuje. Je proto potřeba instalovat speciální technologie, které separují železonosnou část odpadu a neželezné kovy, případně jiné látky koncentrují v takové míře, že jsou využitelné v příslušném odvětví průmyslu. Takové technologie jsou však zatím nedokonalé a velmi nákladné.

Velmi výhodná je recyklace ocelářské strusky přidáváním do vysokopecní vsázky. Předpokládejme, že obsah fosforu v základní vysokopecní vsázce, tj. bez fosforu vnášeného do vysoké pece ocelářskou struskou je $1 \text{ kg.t}^{-1} \text{ s.ž.}$. Téměř všechny fosfor z vysokopecní vsázky přechází do surového železa a v ocelářském agregátu spolu s fosforem z jiných zdrojů (pevného železa, šrotu, přísad) do ocelářské strusky. Do ocelářské strusky se koncentruje odhadem asi 95 % fosforu základní vysokopecní vsázky. Při zpracování celého výskytu ocelářské strusky při výrobě surového železa by konečný obsah fosforu stoupl na :

$$S = 1/(1-0,95) = 20 \text{ kg.t}^{-1} \text{ s.ž.}$$

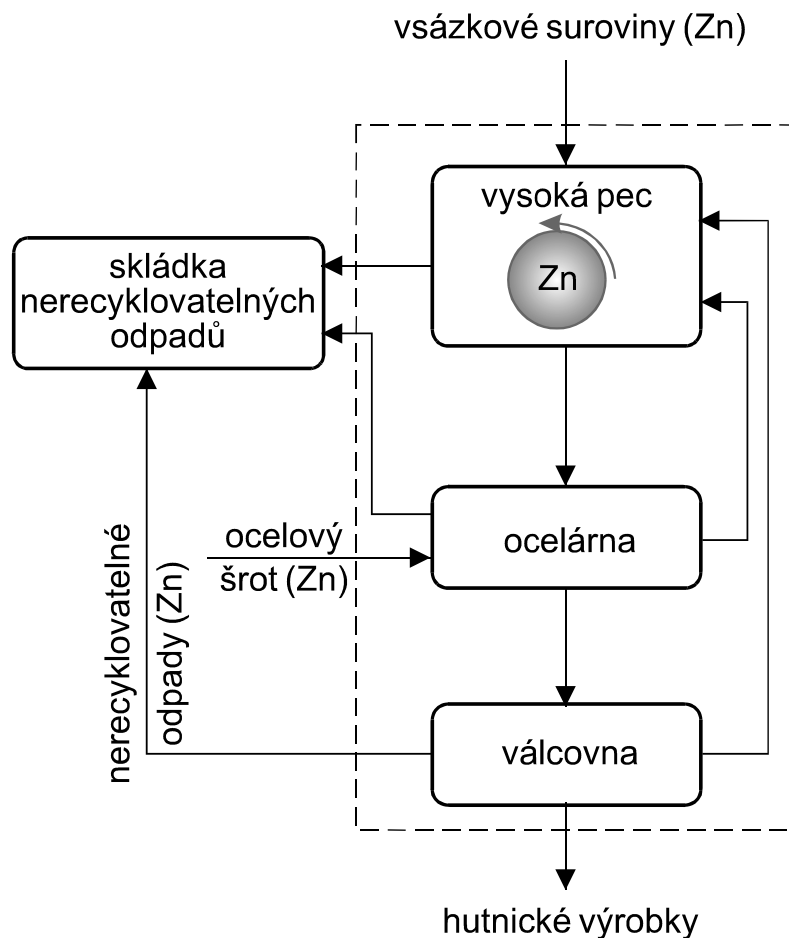
S tak vysokým obsahem fosforu v surovém železe však pracovat nelze. Chceme-li naopak udržet hranici fosforu v surovém železe pod 0,2% (tj. $2 \text{ kg.t}^{-1} \text{ s.ž.}$), můžeme zpracovat maximálně 50% celkového výskytu ocelářské strusky. I takový obsah fosforu je však pro současné vyráběné značky oceli příliš velký.

Možnosti recyklace odpadů v hutním závodě

Do hutního podniku se dopravují různé suroviny přírodního charakteru, nebo výrobky či polovýrobky, které obsahují kromě žádané substance i škodlivé látky. Látky mohou být škodlivé z důvodu, že narušují technologické procesy, nebo jakost hotového produktu, nebo z důvodu, že znečišťují životní prostředí a ohrožují zdraví lidí. Výrobky produkované hutním podnikem obsahují těchto škodlivých látek jen velmi malé množství. Z tohoto pohledu je zřejmé, že v prostorách hutních podniků musí docházet ke značné kumulaci těchto látek. V posledních desetiletích byla ve světě patrná výrazná snaha o recyklaci těchto látek uvnitř podniku. Neustálý přísun nových surovin se škodlivinami logicky znemožňuje nekonečnou recyklaci škodlivých látek. Typický příkladem prvku, který způsobuje velké potíže při recyklaci ve výrobě železa je zinek.

Na příkladu zinku je možno demonstrovat koloběh a kumulaci škodlivin při výrobě surového železa. Ostatní škodlivé látky se při recyklaci chovají podobně, nebo ještě složitěji (např. alkalické sloučeniny).

Na obrázku 54 je znázorněný současný stav distribuce škodlivin v hutnictví železa na příkladu zinku. Určitým „ventilem“ kterým se z technologických procesů zinek (nebo jiná škodlivina) odstraňuje je skládka nerecyklovatelných odpadů, která představuje nebezpečí poškozování životního prostředí. Takovéto řešení je z dlouhodobého hlediska nekoncepční, a neperspektivní.

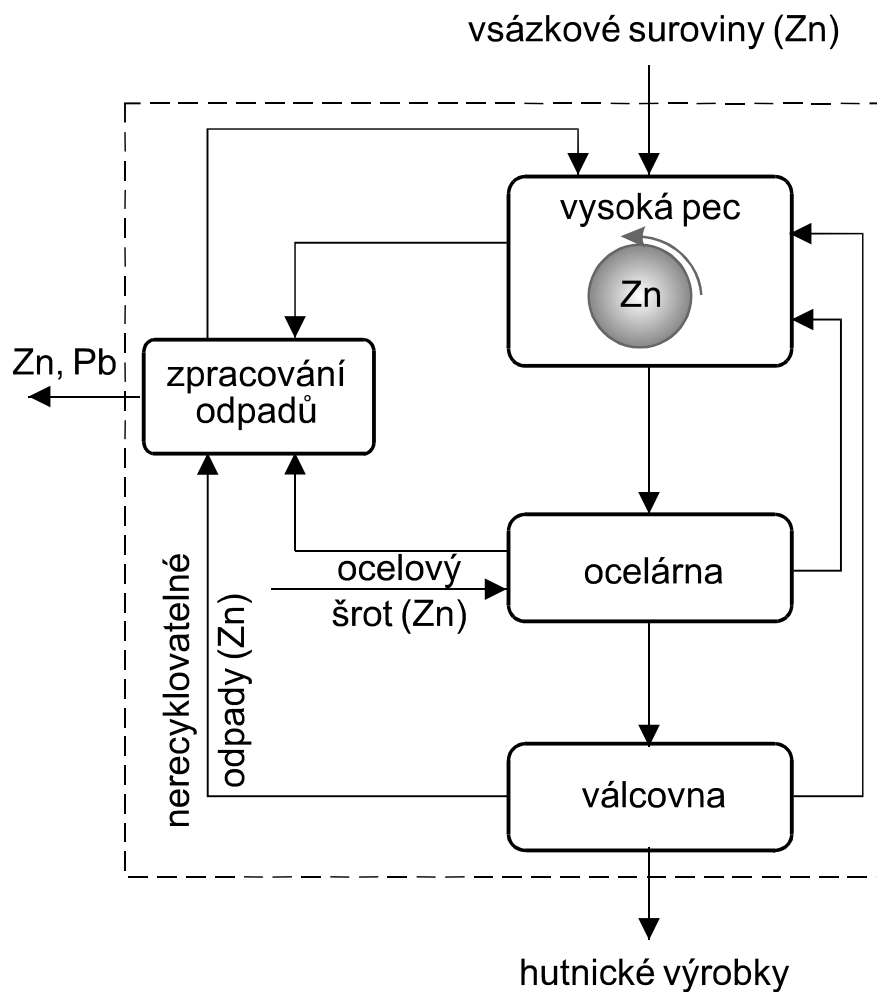


Obr. 54: Klasický způsob koloběhu tuhých odpadů v hutním podniku

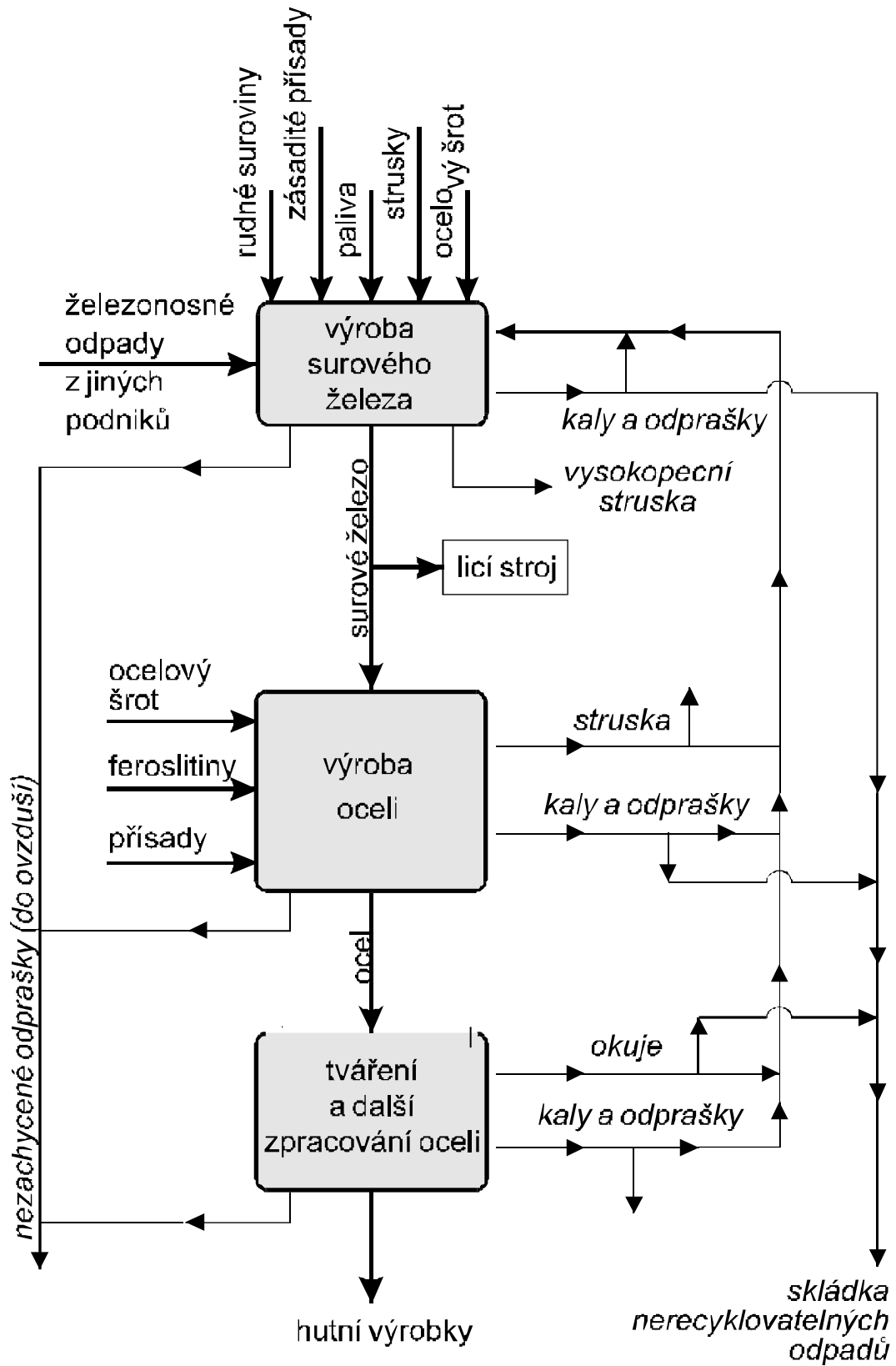
Perspektivním řešením je náhrada skládky nerecyklovatelných odpadů závodem, který pyrometalurgickým, nebo jiným (chemickým) procesem oddělí škodliviny (zinek) od základní hmoty odpadů (obr. 55). Získaný koncentrát odpadu na bázi neželezných kovů se využije v technologiích na výrobu neželezných kovů (Zn, Pb apod.), železitý koncentrát se vrátí do procesu výroby železa. V posledních desetiletích bylo vyvinuto množství technologií umožňujících uvedenou separaci, jsou však velmi nedokonalé,

nákladní nebo nevyhovujících z hlediska ochrany životního prostředí. Používají se obvykle jen na zpracování odpadů z výroby vysocelegovaných ocelí k získávání vzácných drahých prvků jako vanad, wolfram molybden apod. Koloběh odpadů přináší obr.56.

Určitou možnost zpracování hutních odpadů představují i některé nové technologie výroby železné houby (DRI, HBI) , jako např. Fastmet, Comet, Inmetco apod.



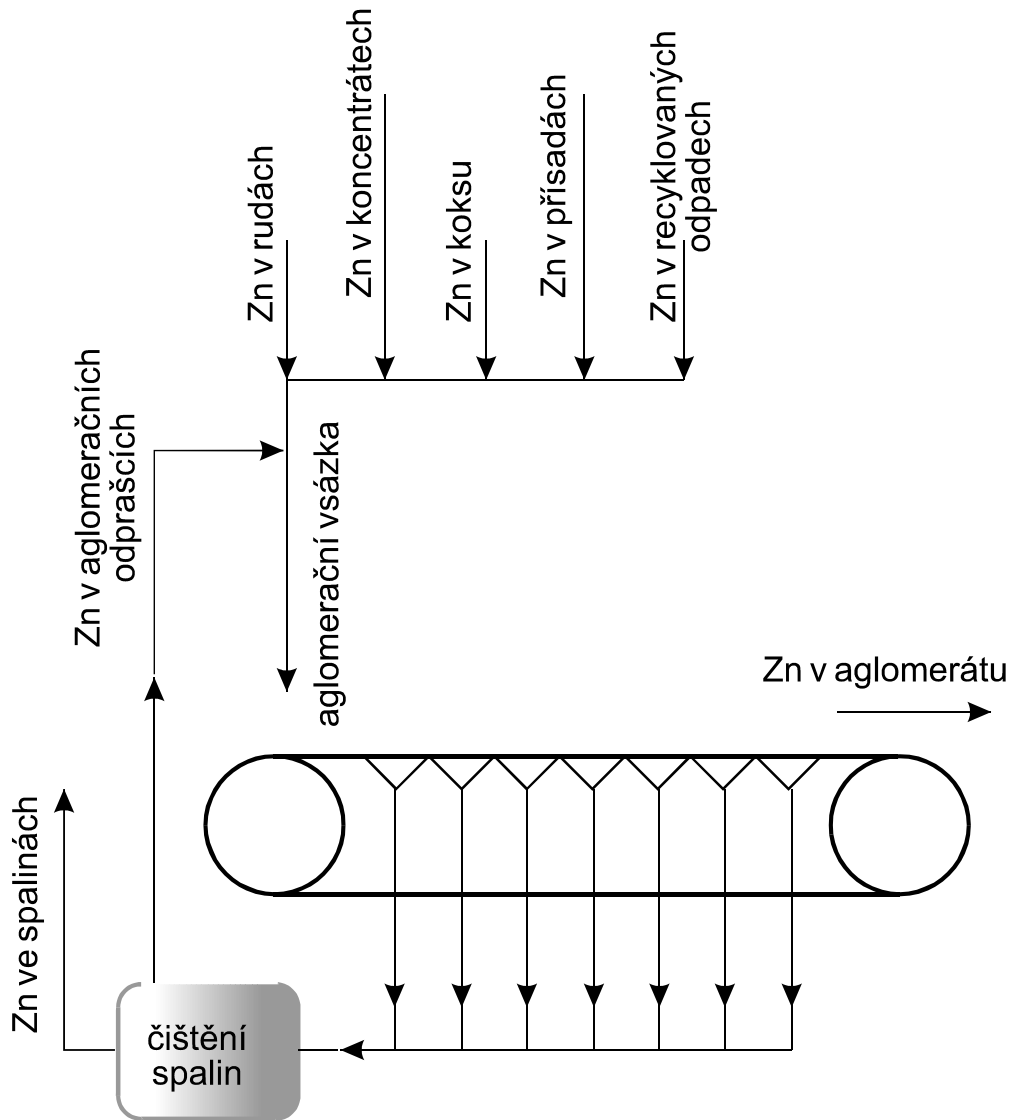
Obr. 55 : Koloběh tuhých odpadů v moderním hutním podniku



Obr. 56: Koloběh tuhých odpadů v hutním podniku

13.3 Recyklace na aglomeračním provozu

Protože jemnozrné odpady se recyklují většinou přes aglomerační provozy, je potřeba této technologii věnovat zvýšenou pozornost. Jak je vidno z obr. 57 malá část odpadů (Zn) odchází v důsledku nedokonalého čištění spalin komínem do ovzduší, většina odpadů však přechází do aglomerátu a vstupuje do vysoké pece. Uvedena skutečnost neplatí pro síru, kde asi 90 % odchází do ovzduší.



Obr. 57 : Koloběh zinku v aglomeračním provozu

Výroba aglomerátu jako základního komponentu vysokopecní vsázky je tedy sice nejpožívanější technologií na zpracování hutních odpadů, ale nepředstavuje koncepční řešení problému. Část škodlivých prvků se při spékání odstraní, ale jejich přechod do atmosféry je ekologicky škodlivý.

Filosofie založená na zředění škodlivin na hodnoty, které jsou ještě přípustné platnými normami je principiálně nesprávná. Výroba aglomerátu je však stále jednou z mála

technologíí, které jsou v oblasti zpracování jemnozrnných kovonosných materiálů používány a je proto potřeba se spékáním i nadále výzkumně zabývat.

13.4 Recyklace ve vysoké peci

Vysokopecní vsázka (s obsahem zinku) se při poklesu postupně ohřívá a zinek se redukuje uhlíkem. Situaci komplikuje skutečnost, že bod varu zinku je nižší, než je teplota redukce a vyredukovaný zinek se okamžitě odpařuje a vrací se s plynem do horních, chladnějších oblastí vysoké pece. Je oxidován pomocí CO_2 a kondenzuje na povrchu jednotlivých kusů vsázky, se kterými znovu klesá do oblastí vysokých teplot. Opět se redukuje a proces se opakuje. Takto cirkulující množství zinku se postupně zvětšuje o množství přicházející s novou vsázkou. Samotná redukce a oxidace, odpařování a kondenzace zinku (nebo jiného odpadu) má nepříznivý ekonomický a ekologický dopad.

Redukce oxidů zinku a jeho odpařování jsou endotermické děje, které odebírají teplo ve střední části vysoké pece. Teplo se při zpětné oxidaci a kondenzaci v horní části znovu uvolňuje, není již však možné jeho využití, jen dochází k ohřevu vysokopecního plynu odcházejícího z vysoké pece. Tyto procesy zvyšují měrnou spotřebu koksu, s příslušnými ekonomickými i ekologickými důsledky.

Podobnou cirkulací prochází i jiné odpady (Pb, Cd). Složitější je cirkulace alkalických sloučenin (Na_2O , K_2O), kde podle formy chemické vazby alkalických prvků mohou být až 3 podobné smyčky.

Část zinku kondenzuje na drobných zrnech vsázky, která jsou odnášena plynem ven z prostoru pece. Množství kondenzovaného zinku je úměrné povrchu materiálu, proto nejvíce zinku obsahuje nejjemnější materiál. Tato část zinku končí většinou ve vysokopecních kalech, v menší míře ve vysokopecním výhozu.

Další část zinku kondenzuje na povrchu vyzdívky vysoké pece, vniká do jejich pórů a způsobuje intenzivní opotřebení žáruvzdorného materiálu.

Opotřebení vyzdívky vytváří podmínky pro vznik nasazenin s obsahem zinku. V případě, že vstup zinku je větší než 120 až 150 gramů na tunu vyrobeného surového železa, vznik nasazenin způsobuje velmi vážné poruchy chodu vysoké pece.

Nasazeniny se buď samovolně nebo technologickými zásahy uvolňují a klesají do roztavené hmoty. Při odpichu je potom zinek strháván vypouštěným železem a uniká do atmosféry ve

formě tzv. bílých dýmů. Podobně se chová i olovo a další škodliviny. Bílé dýmy, nebo „kouřící odpichy“ působí nepříznivě na zdraví obsluhy odlévárny vysoké pece.

Z uvedených skutečností vyplývá, že není reálnou možností plná recyklace vysokopecních a ocelářských kalů prostřednictvím vysoké pece a je potřeba hledat cesty, jak odstranit tyto kovy z metalurgického cyklu a využít je.

Prvním krokem k řízení obsahu škodlivin v jednotlivých technologických procesech je znalost vstupních hodnot škodlivin přinášejících jednotlivými surovinami a recyklovanými odpady. Obsahy vybraných škodlivých látek v jednotlivých materiálech jsou uvedeny v tab. III až V.

Tab. III Obsahy železa a některých škodlivin v dovážených rudách [%]

Ruda	Fe	P	S	Zn	Pb	Cd	As	Na ₂ O	K ₂ O
Agloruda Záporožská	61,9	0,024	0,015	0,003	0,001	0,0001	0,001	0,05	0,02
Agloruda Krivbas	57,3	0,031	0,015	0,003	0,001	0,0001	0,001	0,16	0,12
Koncentrát Jugok	64,9	0,016	0,041	0,003	0,001	0,0001	0,001	0,07	0,02
Koncentrát Stoilenský	66,1	0,019	0,041	0,003	0,001	0,0001	0,001	0,05	0,05
Koncentrát Lebedinský	67,2	0,019	0,042	0,003	0,001	0,0001	0,001	0,06	0,02
Koncentrát Sevgok	64,9	0,017	0,045	0,003	0,001	0,0001	0,001	0,07	0,08
Koncentrát Cegok	65,1	0,018	0,070	0,003	0,001	0,0001	0,001	0,04	0,02
Koncentrát ilmenitový	34,6	0,013	0,021	0,005	0,001	0,0001	0,001	0,08	0,02
Kusová Záporožská	61,8	0,021	0,015	0,003	0,001	0,0001	0,001	0,04	0,01

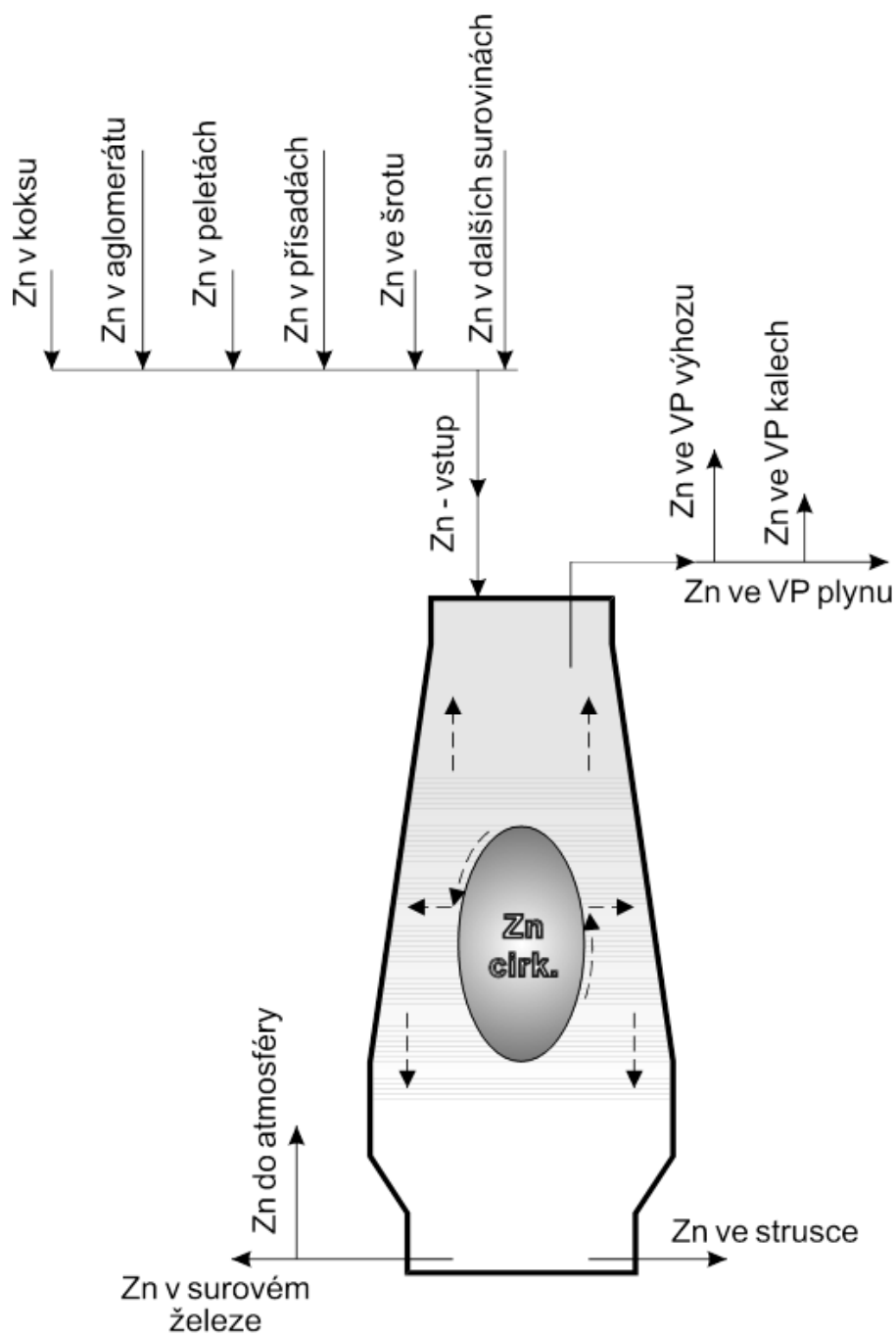
Tabulka IV Obsahy železa a některých škodlivin ve vysokopecních surovinách [%]

Ruda	Fe	P	S	Zn	Pb	Cd	As	Na ₂ O	K ₂ O
Pelety Poltava	61,9	0,013	0,003	0,003	0,001	0,0001	0,001	0,05	0,11
Pelety Brazílie	65,35	0,011	0,013	0,005	0,001	0,0001	0,001	0,06	0,04
Pelety	64,9	0,016	0,041	0,003	0,002	0,0001	0,001	0,07	0,02
Aglomerát 1	54,9	0,045	0,013	0,008	0,001	0,0001	0,001	0,07	0,03
Aglomerát 2	55,2	0,046	0,006	0,007	0,001	0,0001	0,001	0,07	0,03
Pelety Nižná Slaná	53,82	0,018	0,05	0,006	0,005	0,0001	0,045	0,05	0,08

Tabulka V Obsahy železa a některých škodlivin v prachových odpadech [%]

Odpad	Fe	P	S	Zn	Pb	Cd	As	Na ₂ O	K ₂ O
Aglomerační prach	50,5	0,001	0,25	0,052	0,361	0,0104	0,001	0,104	0,093
Vysokopecní výhoz	35,9	0,048	0,22	0,042	0,006	0,0005	0,001	0,11	0,15
Kal KKO hrubý	74,8	0,20	0,068	0,58	0,07	0,0031	0,001	0,09	0,05
Kal KKO jemný	64,3	0,19	0,14	3,1	0,77	0,018	0,001	0,18	0,17
Vysokopecní kal	40,6	0,049	0,56	1,5	0,13	0,0033	0,001	0,09	0,14
Štruska KKO	22,1	0,7	0,09	0,003	0,001	0,0001	0,001	0,05	0,02
Okuje	71,3	0,022	0,045	0,005	0,002	0,0001	0,001	0,09	0,04
Prach elektroocelar.	37,2	0,059	0,17	1,36	0,47	0,0054	0,004	0,45	0,84
Separát z haldy	23,3	0,8	0,15	0,048	0,006	0,0005	0,001	0,11	0,07

Znázornění koloběhu zinku na vysoké peci, s definicí jednotlivých zdrojů přináší obr.58.



Obr. 58 : Koloběh zinku při výrobě surového železa



Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- vysokopecní prach, vysokopecní kaly, ocelářenské kaly;
- koloběh zinku a alkálií ve vysoké peci;
- emise, imise, emisní strop;
- BAT, IPPC.



Otázky:

1. Jaké je rozdělení škodlivých látek při výrobě surového železa?
2. Co jsou to „emise“?
3. Co emisní limit? Jaký je v současnosti pro aglomerační provoz?
4. Co je emisní faktor?
5. Popište tok tuhých znečišťujících látek v hutním podniku.
6. Popište možnosti recyklace odpadů při výrobě surového železa?
7. Které složky vsázky přinášejí při výrobě železa nejvíc škodlivých látek?
8. Vysvětlete cirkulaci a kumulaci zinku ve vysoké peci.
9. Jak se čistí aglomerační spaliny?
10. Jak se čistí vysokopecní plyn?
11. Co znamená zkratka BAT?



Doporučena a použita literatura :

1. KRET. J. : Škodliviny při výrobě surového železa, VŠB-TU Ostrava, 2003, ISBN 80-248-0552-9, 84 s.
2. Herčík, M. : 111 otázek a odpovědí o životním prostředí, Montanex Ostrava, 2004, 150 s., ISBN 80-248-1073-5
3. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, March, 2000

14 SOUČASNÝ STAV A PERSPEKTIVY VÝROBY SUROVÉHO ŽELEZA

Členění kapitoly:

- Současný stav a perspektivy výroby surového železa
- Principy a druhy přímé výroby železa;
- Tavná redukce



Čas potřebný ke studiu: 50 minut



Cíl: Po prostudování této kapitoly

- seznámíte se současným stavem a perspektivami výroby surového železa
- pochopíte základní technicko-ekonomické ukazatele
- pochopíte principy a druhy přímé výroby železa;
- pochopíte princip tzv. Tavné redukce



Výklad

Výroba surového železa ve světě dosáhla v roce 2012 celkem 1 109 719 tisíc tun. Největším světovým výrobcem je Čína s 657 905 tis. tunami vyrobeného surového železa v roce 2012. V České republice se v roce 2012 vyrobilo 3 935 tis. tun surového železa. Kromě toho se ve světě v roce 2012 vyrobilo 58 030 tis. tun železa metodou přímé výroby železa z rud (DRI).

V České republice jsou v současnosti jen dva vysokopeční závody. Největším výrobcem je společnost v rámci Ostravy, která má čtyři vysoké pece, ze kterých však v současnosti provozuje podle potřeby dvě. Vysoká pec č. 1 je vybavena zvonovou sazebnou a může se používat k výrobě slévárenských, nebo speciálních surových želez.

Druhý vysokopeční závod se nachází v rámci podniku v Třinci.

Vysokopecní výroba surového železa prošla v posledních 20 letech rozsáhlou přestavbou a modernizací. Byla ukončena výroba ve Vítkovicích. Území a zařízení vysokopecního závodu je využíváno ke kulturním účelům (skanzen).

Došlo ke zkvalitnění vysokopecní vsázky, což vedlo ke zvýšení výrobnosti vysokých pecí a ke snížení měrného množství strusky. Pro Moravskoslezský kraj má velký význam modernizace odprášení aglomeračních provozů v Třinci i v Ostravě, jenž přispěla ke snížení znečištění ovzduší.

14.1 Základní technicko-ekonomické ukazatele výroby surového železa

Mezi základní technicko-ekonomické ukazatele výroby surového železa patří ukazatele výrobnostní, spotřební a nákladové. Protože však cena vyrobeného surového železa se řídí i jeho jakostí, patří i rovnoměrnost chemického složení a teploty železa mezi technicko-ekonomické ukazatele.

Měrná spotřeba koksu je spotřeba koksu přepočtena na jednotku vyrobeného surového železa.

Měrná spotřeba paliva je spotřeba koksu a náhradních paliv přepočtena na jednotku vyrobeného surového železa.

Měrný výskyt strusky je množství vzniklé strusky přepočteno na jednotku vyrobeného surového železa.

Denní výrobnost vysoké pece lze vyjádřit poměrem denní spotřeby koksu (K_d) a jeho měrné spotřeby (k_m)

$$P_d = K_d / k_m \quad (\text{t} \cdot \text{d}^{-1})$$

K posuzování intenzity práce různě velkých vysokých pecí se používá **objemový součinitel intenzity hoření koksu**

$$I = K_d / V_0 \quad (\text{t} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1})$$

kde V_0 je užitečný objem vysoké pece, nebo **plošného indexu zatížení nístěje**

$$i = K_d / A_n \quad (\text{t} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1})$$

kde A_n je plocha průřezu nístěje v rovině výfučen

Součinitel využití užitečného objemu vysoké pece (k_0 , nebo KIPO) je dán poměrem užitečného objemu pece a její denní výrobnosti

$$k_0 = V_0 / P_d \quad (\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{d})$$

Stejný význam má obrácená hodnota tohoto ukazatele označovaná jako **ukazatel měrné výrobnosti**

$$P_m = P_d / V_0 \quad (\text{m}^{-3} \cdot \text{t} \cdot \text{d}^{-1})$$

14.2 Perspektivy vysokopecní výroby surového železa

Hlavním trendem vývoje vysokopecní výroby posledních let je snižování měrné spotřeby koksu. Kromě zavádění automatizace, zlepšování konstrukce vysokých pecí a úrovně řízení procesu, možností, kterých se již do značné míry vyčerpali, vede k tomuto cíli hlavně zvyšování množství injektovaných náhradních paliv (náhrada koksu). V současnosti je to hlavně náhrada koksu prachovým uhlím. Náhrada koksu injektovanými náhradními palivy má však hranice v množství koksu, který musí plnit funkci nosné kostry.

Zvyšování množství uhlovodíkových náhradních paliv však přináší značný pokles teploty v oxidačních prostorech vysoké pece. Tento pokles se musí kompenzovat obohacováním vysokopecního větru kyslíkem. Kyslík zároveň zvyšuje výrobnost vysoké pece. Tento trend může vést až k tzv. kyslíkové (bezdušičkové) vysoké peci (OBF). Taková vysoká pec by nepotřebovala ohřívače větru což kromě ekonomických a technologických důsledků má i kladný ekologický dopad. Zatím se nepodařilo u bezdušičkové vysoké pece zvládnout řízení tepelného stavu pece. Existuje návrh na tzv. vybilancovanou vysokou pec (BBF), které je obsah kyslíku ve vysokopecním větru kolem 50 %.

Další intenzivně rozvíjenou technologií je použití redukčního plynu z transformace CO na CO₂ ve vysokopecním plynu. Redukční plyn (CO) se fouká do spodní části šachty vysoké pece. Do klasických výfucen se může dmýchat kyslík (odpadají ohřívače větru).

Současné technologie injektáže velkého množství náhradních paliv do nístěje způsobují snížení koksových vrstev v šachtě pece, což vede ke snížení prodyšnosti této části pece. Ke kompenzaci této skutečnosti se může použít technologie, při které se spolu s injektovaným uhlím vhání i prachové oxidy železa (rudné části vsázky). Vyrovnávají se tak poměry v šachtě pece. Protože s uhlím je možno injektovat i prachové zásadité přísady, přesouvá se značná část vsázky do výfucen vysoké pece. Může se snižovat výška pece a vzniká agregát dost odlišný od klasické vysoké pece.

Některé hutní závody používají injektáž plastů v prachovém stavu do nístěje vysoké pece. Plasty jsou skoro čisté uhlovodíky (minimum popela a vody), problémy jsou s obsahem chloru a dopravou plastů do oxidačních prostorů.

Z dalších technologií se kromě různých vodíkových technologií intenzivně vyvíjí redukce železných rud pomocí mikrovlnného záření. Pomocí tohoto záření se pevná vsázka ohřívá v současné v celém objemu (nezávisle na tepelné vodivosti), což výrazně urychluje tepelné a chemické procesy.

14.3 Způsoby výroby železa mimo vysokou pec

Mezi perspektivní technologie stále patří způsoby výroby železa mimo vysokou pec a bez koksu : Přímá redukce železa z rud - označována DRI (Direct Reduced Iron) a Procesy tavné redukce – označována SRI (Smelting Reduced Iron)

Snaha obejít použití koksu při redukce železa a nahradit jej jinými redukčními látkami vedla k vývoji pochodů přímé redukce. Do roku 1957 nedoznaly pochody přímé redukce železa z rud významnějšího uplatnění. Za určitý mezník lze pokládat zavedení výroby železné houby v retortách způsobem HyL.

Jako hlavní redukční látka při přímých způsobech výroby slouží produkty konverze zemního plynu. Jako železorudné suroviny se v převážné většině případů užívají bohaté rudy, rudné koncentráty a za nich vyrobené pelety.

V poslední době se zahraniční výzkum zaměřuje na výrobu surového železa bez použití metalurgického kovu a jiných deficitních druhů paliva a zájem se soustřeďuje na využívání nekoksovatelných druhů uhlí, spalovaných v proudu kyslíku. K výrobě mají sloužit buď šachtové pece, nebo zařízení podobná konvertorům, jejichž princip práce se podobá práci vysoké pece.

První výrobci železa ve starých časech vyráběli pórovitý (houbovitý) produkt redukcí železných rud dřevěným uhlím. Železná houba se stala principiálním zdrojem kujného železa a oceli pro mnoho století.

Přímá redukce (DR) je definována jako ty procesy, ve kterých je vyráběno surové železo redukcí ze železných rud nebo z jiných oxidů železa za nepřítomnosti tekuté fáze (taveniny), pod teplotou tavení použitých materiálů s užitím pevných, kapalných nebo plynných redukovadel.

Produkt DR procesu se nazývá železná houba nebo přímo redukované železo (direct reduced iron – DRI) a za horka briketované železo (Hot briquetted iron – HBI) jako náhrada šrotu pro výrobu oceli v elektrických pecích

Rozdělení DR procesů

Typ klasifikace :

1. *Podle redukčního reaktoru :*

- šachtové pece : - klidná vrstva
 - vířivá vrstva
- rotační troubové pece
- pece s otočnou nístějí

2. *Podle druhu rudy:*

- jemná,
- kusová
- pelety

3. *Podle redukovačla:*

- pevné (např. uhlí)
- kapalné (např. olej)
- plynné (např. zemní plyn)

4. *Podle produktu :*

- pevný (např. železná houba)
- těstovitý (např. produkt z pecí s otočnou nístějí)

Definice tavné redukce.

Obecně tavná redukce představuje tavení se zahrnutím chemické reakce redukce (obdobně jako ve vysoké peci). Technologie tavné redukce zahrnuje obě fáze procesu – redukci v pevném stavu a tavení.

Tavná redukce se uskutečňuje ve dvou agregátech (nádobách) nebo ve dvou zónách a to v jednotce předredukce a v tavném redukčním reaktoru. Není ovšem nezbytné, aby všechny technologie tavné redukce byly vybaveny 2 separátními reakčními nádobami.

Uhlí je zaváženo do tavného redukčního reaktoru, kde je zplyněno. Tím vzniká teplo a horký plyn obsahující oxid uhelnatý. Teplo je využito pro tavení železa v tavném redukčním reaktoru. Horký plyn je veden do předredukční jednotky a užit pro předredukci oxidů železa v pevném stavu. Oxidy železa jsou do jednotky dávkovány přímo. Předredukované železo je průběžně transportováno do tavného redukčního agregátu, kde se redukce dokončuje.

Principy tavné redukce

- nepoužívá se koks, jen nekoksovatelné uhlí
- aglomerace železných rud rovněž není u většiny procesů tavné redukce potřebná
- nevzniká kohezivní zóna

Rozdělení tavné redukce

1. *S tavicím a zplyňovacím reaktorem* (dvoustupňová, založená na):

- redukci železných rud až na DRI (850 – 1000°C)
- tavení za přítomnosti redukčního plynu

2. *Reaktor s lázní železa* (Hismelt)

- předredukce rud
- dávkování předredukované rudy s uhlím a kyslíkem (horkým větrem) a konečné doredukování

Jako procesy přímé výroby jsou označovány ty technologické postupy, při kterých redukce železa z jeho nositelů probíhá z pevném stavu a výrobek je taktéž v pevném stavu. Produkt takových procesů - zejména u kusových rud - připomíná svým silně pórovitým stavem mořskou houbu a byl proto nazván „železná houba“. Tento produkt obsahuje ještě také všechny hlušinové složky, neboť zde nedochází k oddělení v roztaveném stavu jako u vysoké pece. Redukce u přímých způsobů výroby železa probíhá při teplotách 700 – 1 000°C, neboť je nutno respektovat měknutí rud resp. slinování jemných částic.

Pro procesy přímé výroby železa z rud jsou používány kusové rudy, pelety a jemnozrnné rudy a koncentráty o zrnitosti vhodná pro peletizaci či aglomeraci. Jako redukční prostředek se užívá zemní plyn a uhlí, ale i jiné látky na bázi uhlovodíků, nebo elektrická energie.

Pro pochody tavné redukce je naopak charakteristické že předredukce se uskutečňuje redukčním plynem vyrobeným z uhlí ve vlastním tavném reaktoru. Dnes se pochody tavné redukce obvykle člení na pochody s předmetalizací a pochody bez předmetalizace. V tavných reaktorech pracujících technologií bez předmetalizace probíhá tavení, rozhodující část redukce oxidů železa a dodatečné spalování produktů této redukce. Uvedené dospalování probíhá pouze zčásti, aby byla zachována možnost využití částečně dospáleného plynu pro alespoň dílčí předredukci vstupních železonošných surovin.

U tavné redukce s předmetalizací vstupuje do tavného reaktoru železná houba s vysokým stupněm metalizace, a proto zde dochází pouze k velmi omezené redukci zbytků oxidů. Hlavním dějem je tady zplyňování uhlí jako nositele redukovaadla. Vznikající redukční plyn je beze zbytku využíván pro dosažení co nejvyššího stupně metalizace železné houby v předredukčním reaktoru. Daleko nejvýznamnějším reprezentantem této technologie je v současnosti proces COREX, který se jako jediný ze všech pochodů tavné redukce zatím uplatnil i v běžné výrobní praxi

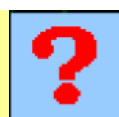
U procesů bez předmetalizace probíhá odnímání kyslíku oxidům ve strusce prostřednictvím suspenzovaného uhlí resp. uhlíkem rozpuštěným v železné lázni. Protože relativní rychlost reakcí mezi železnou lázní a klidnou zónou strusky není příliš velké, není podíl kyslíku redukovaného uhlíkem rozpuštěným v železe vždy převažující.



Shrnutí pojmů:

Po prostudování kapitoly by vám měly být jasné následující pojmy:

- roční výroba surového železa;
- technicko-ekonomické ukazatele výroby surového železa
- měrná spotřeba koksu;
- přímá redukce železa z rud;
- redukce vodíkem;
- regenerace vysokopecního plynu;



Otázky:

1. Kdo je největším světovým výrobcem surového železa?

2. Čím se liší měrná spotřeba koksu a měrná spotřeba paliva?
3. Co je objemový součinitel intenzity hoření koksu?
4. Jaké způsoby přímé redukce znáte?
5. Jaké způsoby tavné redukce znáte?



Doporučena a použita literatura :

1. Babich,A. a kol. : IRONMAKING, Aachen,2008, 402 s., ISBN 3-86130-997-1