

Automatizace technologických procesů

Řízení technologických procesů v metalurgii

Autor:

Milan Vrožina, David Jiří, Garzinová Romana

Ostrava, 2008

Název: Automatizace technologických procesů - Řízení technologických procesů v metalurgii

Katedra: Katedra automatizace a počítačové techniky v průmyslu

Autoři: Milan Vrožina, David Jiří, Garzinová Romana

Místo rok, vydání: Ostrava, 2008

Počet stran: 83

Vydala: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Neprodejné



Toto dílo podléhá licenci [Creative Commons Uvedte původ-Neužívejte komerčně-Nezpracovávejte 4.0 Mezinárodní License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ
UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA METALURGIE A MATERIÁLOVÉHO
INŽENÝRSTVÍ**

STUDIJNÍ OPORA

Název opory/předmětu:

**AUTOMATIZACE TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ
Část 2: Řízení technologických procesů v metalurgii**

Číslo předmětu: 638419, 638414, 638418

Autor/Autoři:

**prof. Ing. Milan Vrožina, CSc.
doc. Ing. Jiří David, Ph.D.
Ing. Romana Garzinová, Ph.D.**

Katedra: Automatizace a počítačová technika v metalurgii

**Tato studijní opora vznikla v rámci rozvojového projektu Tvorba elektronických
studijních opor pro studijní programy FMMI v r. 2008**

Obsah

1. ÚVOD.....	4
2. INTEGROVANÝ HUTNÍ PODNIK	6
2.1 PŘEHLED POSTUPŮ.....	6
3. KOKSOVNY	9
3.1 UHELNÁ SLUŽBA.....	9
3.2 KOKSOVÁ BATERIE	10
3.2.1 Zavážení uhlí.....	11
3.2.2 Optimalizace zvýšení sypné hustoty koksovací vsázky	12
3.2.3 Ohřev/ zapalování komor.....	13
3.2.4 Koksování.....	14
3.2.5 Vytlačování a hašení koksu	16
3.2.6 Manipulace s koksem a třídění.....	16
3.3 ASŘ KOKSOVNY.....	17
3.3.1 Řídicí systém koksovny.....	17
3.3.2 Systémy automatické regulace tepelného režimu koksovárenské baterie.....	17
4. PŘÍPRAVA VSÁZKY PRO VYSOKOPECNÍ POCHOD.....	19
4.1 STUDENÝ ÚSEK PŘÍPRAVY VSÁZKY	19
4.1.1 Systém ASŘ TP studeného úseku přípravy vysokopecní vsázky.....	20
4.1.2 Technické prostředky pro řízení studeného úseku.....	22
4.1.3 Řízení homogenizace surovin:.....	22
4.2 TEPLÝ ÚSEK PŘÍPRAVY VSÁZKY	23
4.3 AGLOMERAČNÍ ZÁVODY.....	23
4.3.1 Technologie spékacího procesu.....	23
4.3.2 Míchání a příprava směsi surovin.....	23
4.3.3 Spékání na aglomeracním pásu.....	24
4.3.4 Třídění horkého aglomerátu a chlazení	25
4.4 PELETIZAČNÍ ZÁVODY.....	26
4.4.1 Technologie sbalovacího procesu	26
4.4.2 Drcení a sušení/odvodňování	26
4.4.3 Příprava čerstvých sbalků.....	26
4.4.4 Vytvrzování.....	26
4.4.5 Třídění a manipulace	27
4.5 SYSTÉM ASŘ TP TEPLÉHO ÚSEKU PŘÍPRAVY VYSOKOPECNÍ VSÁZKY	27
5. VYSOKÉ PECE	28
5.1 DRUHY SUROVÉHO ŽELEZA.....	28
5.2 VYSOKOPECNÍ PROCES.....	28
5.2.1 Rudný most.....	30
5.2.2 Zavážení	30
5.2.3 Vysoká pec.....	31
5.2.4 Ohříváče větru.....	34
5.2.5 Přímá injektáž redukčních činidel.....	34
5.2.6 Odlévání	35
5.2.7 Zpracování strusky.....	36
5.3 ÚKOLY ŘÍDÍCIHO SYSTÉMU	36
5.4 ŘÍZENÍ TEPELNĚ TEPLOTNÍHO STAVU VYSOKÉ PECE	37
5.4.1 Teoretické možnosti ovlivňování protiproudu	37
5.4.2 Přestup tepla ve vysoké peci.....	38
5.4.3 Systémy řízení ohříváčů větru.....	39
6. SUROVÉ ŽELEZO A OCEL.....	40
7. VÝROBA OCELI	43
7.1 ZPŮSOBY VÝROBY OCELI	43
7.2 VÝROBA OCELI KYSLÍKOVÝMI POCHODY	43

7.2.1	<i>Výroba oceli v Siemens – Martinských pecích</i>	47
7.2.2	<i>Výroba oceli v tandemových pecích</i>	47
7.2.3	<i>Výroba oceli v kyslíkových konvertorech</i>	51
7.2.4	<i>Přeprava a skladování taveniny horkého kovu</i>	52
7.2.5	<i>Předúprava taveniny kovu</i>	52
7.2.6	<i>Oxidace v kyslíkovém konvertoru</i>	53
7.3	MIMOPEČNÍ ZPRACOVÁNÍ OCELI	56
7.4	ZAŘÍZENÍ SEKUNDÁRNÍ METALURGIE	58
7.4.1	<i>Stanice homogenizace inertním plynem (SHIP)</i>	58
7.4.2	<i>Vakuovací stanice (DH/RH)</i>	58
7.4.3	<i>Pánvová pec (LF)</i>	60
7.4.4	<i>Odlévání</i>	62
7.5	ŘÍZENÍ PŘI VÝROBĚ OCELI KYSLÍKOVÝMI POCHODY	62
7.6	ELEKTRICKÁ VÝROBA OCELI A ODLÉVÁNÍ	63
7.6.1	<i>Používané postupy a techniky</i>	63
7.6.2	<i>Manipulace a skladování surovin</i>	65
7.6.3	<i>Předehřev šrotu</i>	65
7.6.4	<i>Vsazování</i>	66
7.6.5	<i>Tavení v obloukové peci a rafinace</i>	66
7.6.6	<i>Odpich oceli a strusky</i>	66
7.6.7	<i>Manipulace se struskou</i>	66
7.7	ŘÍZENÍ PŘI VÝROBĚ V ELEKTRICKÝCH OBLOUKOVÝCH PECÍCH	67
7.8	ODLÉVÁNÍ OCELI	68
7.8.1	<i>Odlévání ingotů</i>	68
7.8.2	<i>Plynulé (kontinuální) odlévání</i>	68
7.9	ŘÍDICÍ SYSTÉM PROCESU PLYNULÉHO ODLÉVÁNÍ OCELI	71
8.	VÁLCOVNY	72
8.1	TECHNOLOGICKÉ PROCESY VÁLCOVNY [8]	72
8.2	POSTUP VÁLCOVÁNÍ	73
	ÚSEKY VÁLCOVNY	74
8.2.1	<i>Ohřev materiálu – ohřívací pec</i>	74
8.2.2	<i>Řízení teploty a spalovacího poměru</i>	75
8.2.3	<i>Řízení tlaku v peci</i>	75
8.2.4	<i>Řízení tlaku spalovacího vzduchu</i>	75
8.2.5	<i>Teplota spalovacího vzduchu</i>	76
8.2.6	<i>Řízení teploty spalin na vstupu do rekuperátoru</i>	76
8.2.7	<i>Okruh paliva</i>	76
8.2.8	<i>Okruh chladící vody (nepřímá chladící voda)</i>	76
8.2.9	<i>Kontrolní zařízení</i>	76
8.2.10	<i>Termobox – termochemické chlazení</i>	77
8.3	TECHNOLOGICKÝ PROCES – VÁLCOVÁNÍ	77
8.3.1	<i>Předhotovostní stolice</i>	77
8.3.2	<i>Hotovostní stolice</i>	78
8.3.3	<i>Sledování toku materiálu</i>	79
8.3.4	<i>Výběhový úsek</i>	80
8.4	SOUHRN INFORMAČNÍCH A ŘÍDICÍCH PROCESŮ PŘI VÁLCOVÁNÍ	81
9.	LITERATURA	83

1. ÚVOD

Pod pojmem řízený technologický proces rozumíme takový proces, u kterého jsou definovány základní vstupní vlivy a výstupní proměnné procesu, které je nutno řídit v reálném čase, kde jsou stanoveny determinované anebo pravděpodobnostní závislosti mezi vstupními vlivy a výstupními proměnnými (tj. je znám matematický model procesu), jsou rozpracovány metody automatického měření proměnných a jsou definovány cílové změny.

Při řízení výrobně technologických procesů jsou v reálném čase přímo řízeny procesy transformace a rozvodu energie a hmoty. Potom při specifikaci cílů řízení je nutno ještě uvažovat kritéria technologického charakteru a zejména požadavky optimalizace vlastního technologického procesu. Charakteristickým znakem řízení těchto procesů je vysoký stupeň automatizace řízení na úrovni jednotkových procesů.

Výrobní procesy podléhají četným náhodně působícím vlivům, které se z hlediska dosažení cílů řízení projevují jako poruchy. Ty mohou být způsobeny výkyvy jakosti materiálů a polotovarů, nepředpokládanými změnami zatížení, nedostatkem energie, poruchami strojů a zařízení, atmosférickými vlivy, ale i nedostatky v dodržování technologické disciplíny, neschopností rychle a správně analyzovat složité situace apod..

Řízení technologických procesů a zařízení je jednou částí širší oblasti řízení výrobních procesů. Přitom řízení výrobních procesů zahrnuje, podle charakteru výroby ve větší nebo menší míře, tyto úkoly:

- výrobní rozvrhování,
- operativní řízení výroby,
- řízení technologických procesů a zařízení.

Rozsah řešených úloh ve výrobním rozvrhování, operativním řízení výroby a řízení technologických procesů a zařízení je dán charakterem výrobně technologického procesu. V přetržitě (diskrétní) výrobě hrají velkou roli úlohy ve výrobním rozvrhování a operativním řízení výroby, zatímco v nepřetržitě (kontinuální) výrobě převládají úlohy spojené s přímým řízením technologických procesů a zařízení. Všechny tři stupně řízení výrobních procesů jsou vcelku rovnoměrně zastoupeny v přetržitě nepřetržitých výroбах.

Výrobní rozhodování

Cílem výrobního rozhodování je sestavit optimální rozvrh výrobních úkolů, tj. dosáhnout shody mezi požadavky zakázky a možnostmi výroby v daném období. Úlohy, které se zde řeší, jsou: transformace zakázek až na úroveň dne nebo směny, ověřování průchodnosti zakázek, tj. přiřazování jednotlivých operací určitému intervalu časové stupnice příslušného stroje apod. při dodržení požadované kvality výroby a respektování všech omezujících podmínek (kapacitních, technologických a j.).

Na této úrovni řízení vystupuje počítač pouze jako prostředek při automatizaci výpočtů, tj. umožňuje rychle prošetřit různé varianty řešení, ale do procesu řízení a rozhodování přímo nezasahuje. Pracuje tedy jako počítač - rádce (tj. v zapojení typu off-line).

Operativní řízení výroby

Cílem operativního řízení výroby je optimální plnění požadavků na daný časový interval v daném výrobním úseku (až do úrovně lůtvových rozvrhů operací na jednotlivých technologických pracovištích). Jako objekty řízení zde vystupují výrobní úseky představované mnoha parametrovými systémy (např. výrobními stroji) se sériovými a paralelními toky surovina a polotovarů. Jsou zde složité problémy prostorové i časové koordinace, které je třeba řešit podle kombinovaných ekonomických a technologických kritérií. Mezi nejvážnější kritéria

patří obvykle výrobní náklady, minimalizace prostojů, zkrácení průběžné doby výroby a plnění plánu i při působení náhodných poruch.

Operativní řízení výroby musí být schopno reagovat na okamžitou situaci ve výrobě, tj. na stav zásob resp. připravenosti materiálu a výrobních pomůcek, stav výrobního zařízení, propustnost dopravních cest, rozpracovanost, nepředvídané situace atd.. Od informačního a řídicího systému se tedy vyžaduje sběr a zpracování informace v reálném čase.

Při realizaci úloh operativního řízení výroby může automatizační a výpočetní technika plnit již celou řadu funkcí bez přímé účasti operátora. Do určité míry lze automatizovat i některé řídicí zásahy a přípravu rozhodnutí. Vlastní rozhodovací úloha (např. při alternativních možnostech) zůstává člověku.

Přímé řízení technologických procesů a zařízení

Cíle řízení technologických procesů a zařízení jsou velmi silně závislé na charakteru příslušného procesu a na vlastnostech zařízení. Protože jde o přímé řízení procesů transformace a rozvodu energie a hmoty, může být kritériem např. optimalizace vlastního technologického procesu nebo minimalizace přechodových stavů při změně režimu aj.

Při řízení technologických procesů a zařízení mohou řídicí systémy přímo zasahovat a ovlivňovat průběh řízených procesů. Počítače a další automatizační prostředky mohou pracovat buď s cílem koordinovat, kontrolovat ev. ovlivňovat automaty nasazené na úrovni jednotkových procesů (ve způsobu on-line), nebo mohou bezprostředně řídit průběh procesů (ve způsobu in-line nebo DDC). V obou případech jde o řízení automatické, v němž člověku přísluší jen úloha dohlížecí a rozhodovací.

Charakter technologických procesů z hlediska řízení

Složitost problémů řízení závisí velmi silně na charakteru výrobně technologických procesů. Podle průběhu a organizace procesů rozlišujeme:

- nepřetržité (spojité, kontinuální) procesy - se vyznačují relativně úzkou nomenklaturou produkce, tuhými vazbami mezi jednotlivými výrobními úseky, málo častými změnami ve výrobě a relativně ustálenými podmínkami a cíli řízení. Procesy chemicko-technologické a procesy transformace energie.
- přetržité (nespojité, diskrétní) procesy - se vyznačují širokým sortimentem produkce a jeho častými změnami, jednotlivé výrobní úseky mají různou kapacitu, což oslabuje jejich vzájemné vazby, existují křížové vazby mezi paralelními technologickými úseky, což ztěžuje podmínky pro jejich součinnost a jsou vysoké požadavky na koordinaci jednotlivých úseků pro konečnou montáž výrobku. Procesy strojírenské výroby.
- kombinované (přetržitě nepřetržité) procesy - jsou zde zastoupeny jak nepřetržité (spojité) procesy, tak procesy přetržité (diskrétní), vyznačují se častými změnami sortimentu výroby, složité technologické a organizační vazby mezi jednotlivými částmi výrobního systému, silné náhodné vlivy (výsledky některých technologických operací, doby jejich trvání) a pro hutní výrobu jako typického představitele práce s horkým resp. tekutým kovem.

2. INTEGROVANÝ HUTNÍ PODNIK

Integrované hutní podniky jsou charakteristické sítí nezávislých materiálových a energetických toků mezi různými výrobními jednotkami (závody aglomerace, peletizace, koksovny, vysoké pece a kyslíkové ocelárny s následným odléváním), zaujímající plochu až několik km². (obr. 1) Před tím, než budou podrobně popsány jednotlivé typy zařízení a systémy řízení bude prezentován přehled vzájemných závislostí metalurgické výroby.



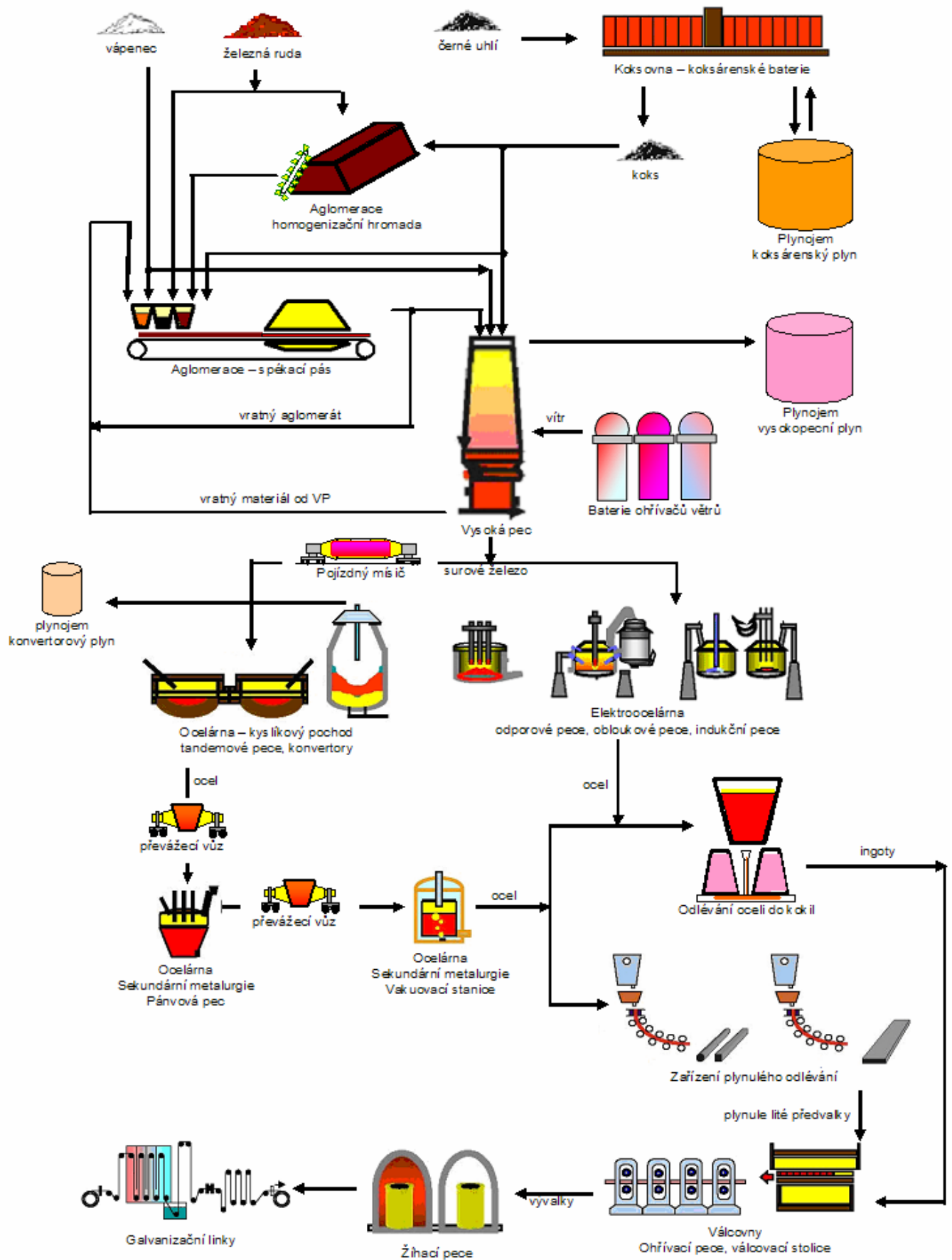
Obr. 1 Letecký pohled na integrovaný hutní podnik

2.1 Přehled postupů

Schematické znázornění pracovních postupů v rámci integrovaného hutního podniku je uvedeno na obr. 2. Obrázek představuje schematický přehled hlavních materiálových vstupů a výstupů pro každou etapu výrobního postupu.

V provozech integrovaných hutních podniků je vysoká pec hlavní provozní jednotkou, kde dochází k primární redukci oxidických rud na tekuté surové železo, resp. na surové železo v houskách. Moderní vysoce výkonné vysoké pece vyžadují fyzikální a metalurgickou přípravu vsázky. Dvěma druhy zařízení pro přípravu železné rudy jsou závody aglomerace a peletizace.

Pelety se téměř vždy dělají z jedné, velmi dobře definované rudy nebo koncentráту v dolech a v této formě se přepravují. V současné době v Evropě existuje pouze jeden integrovaný hutní podnik, který provozuje i peletizační zařízení. Aglomerát se obvykle vyrábí v železárnách z předem stanovených směsí jemných rud, odpadních zbytků a přísad.



Obr. 2 Přehled postupů výroby v integrovaném hutním podniku

Hlavními redukčními činidly ve vysoké peci jsou koks a práškové uhlí, tvořící oxid uhelnatý a vodík, které redukují oxidy železa. Koks a uhlí fungují také částečně jako palivo. Koks se vyrábí z uhlí pomocí suché destilace v koksovně a má lepší fyzikální a chemické vlastnosti než uhlí.

V mnoha případech se podávají přídatná redukční činidla/paliva injektáží oleje, zemního plynu a (v několika případech) i plasty. Horký vzduch poskytuje nutný kyslík pro tvorbu oxidu uhelnatého, který je zásaditým redukčním činidlem oxidů železa.

Vysoká pec se zaváží shora vsázkou, která se skládá střídavě z vrstvy koksu a směsí aglomerátu a/ nebo pelet, kusové rudy a tavidel. V peci se železná ruda postupně redukuje a tekuté železo a struska se shromažďují na dně pece, odkud se odpichují.

Struska z vysoké pece se granuluje, peletizuje, nebo odpichuje do struskových jam. Granulovaná struska nebo pelety se obvykle prodávají společně s výrobou cementu. Struska z jam se může použít také ke stavbě silnic.

Tekuté železo z vysoké pece (surové železo v houskách) se přepravuje do kyslíkových konvertorů, kde se snižuje obsah uhlíku (z cca 4 %) na méně než 1 % a tím dochází k přeměně surového železa v ocel. Na výstupu z kyslíkového konvertoru se tekutá ocel odlévá buď do ingotů nebo pomocí plynulého odlévání.

Odlité výrobky (ingoty, bramy, sochory nebo bloky) se následně zpracovávají ve válcovnách a dokončovacích výrobních linkách.

3. KOKSOVNY

Hlavním produktem výroby v koksovnách je koks. Koks je tuhým pórovitým zbytkem (hmota ocelově šedé barvy) vzniklým karbonizací uhelné vsázky, takových vlastností, které jsou požadovány při jeho dalším použití zejména ve vysokých pecích a slévárnách.

Koks se vyrábí ze směsi vhodných druhů rozemletých (při sytném provozu je asi 80% hmot. % zrn menších než 3 mm, při pýchovacím provozu až 90 hmot. %.) koksovatelných černých uhlí s vlastnostmi správné spékavosti, plasticity a puchnutí uhlí v koksovacích komorách sdružovaných do koksárenských baterií.

Spékavost je schopnost uhlí spéci se v pevný koksový zbytek.

Plasticita je schopnost některých složek uhlí přejít při zahřívání mezi teplotami 320 až 450°C do plastického stavu.

Puchnutí uhlí je zvětšování objemu uhlí při jeho plastickém stavu, které je způsobeno vyvíjejícími plyny, kterým plastická hmota klade odpor.

Přeměnu uhelné vsázky na koks označujeme jako karbonizaci, tzn. pyrolýzu uhlí při vysoké teplotě, což znamená zahřívání uhlí v neoxidační atmosféře za tvorby plynů, kapalin a pevných zbytků. Při tomto procesu je teplota spalných plynů běžně 1150 až 1350 °C při nepřímém zahřívání uhlí až 950-1050° C po dobu 14 až 24 hod. Při karbonizaci vzniká vedle koksu i surový koksárenský plyn, zpracováváný v chemické části koksoven, při kterých se získává řada cenných produktů (čistý technický koksárenský plyn, dehet, benzol, amoniak a další).

Koksovnu lze rozdělit na následující subsystemy:

- Uhelná služba (manipulace s uhlím),
- Koksová baterie (vsazování uhlí, zahřívání /žhnutí, koksování, vytlačování koksu, hašení koksu),
- Koksová služba (manipulaci s koksem),
- Chemie (jímání a úpravu koksárenského plynu a rekuperace vedlejších produktů).

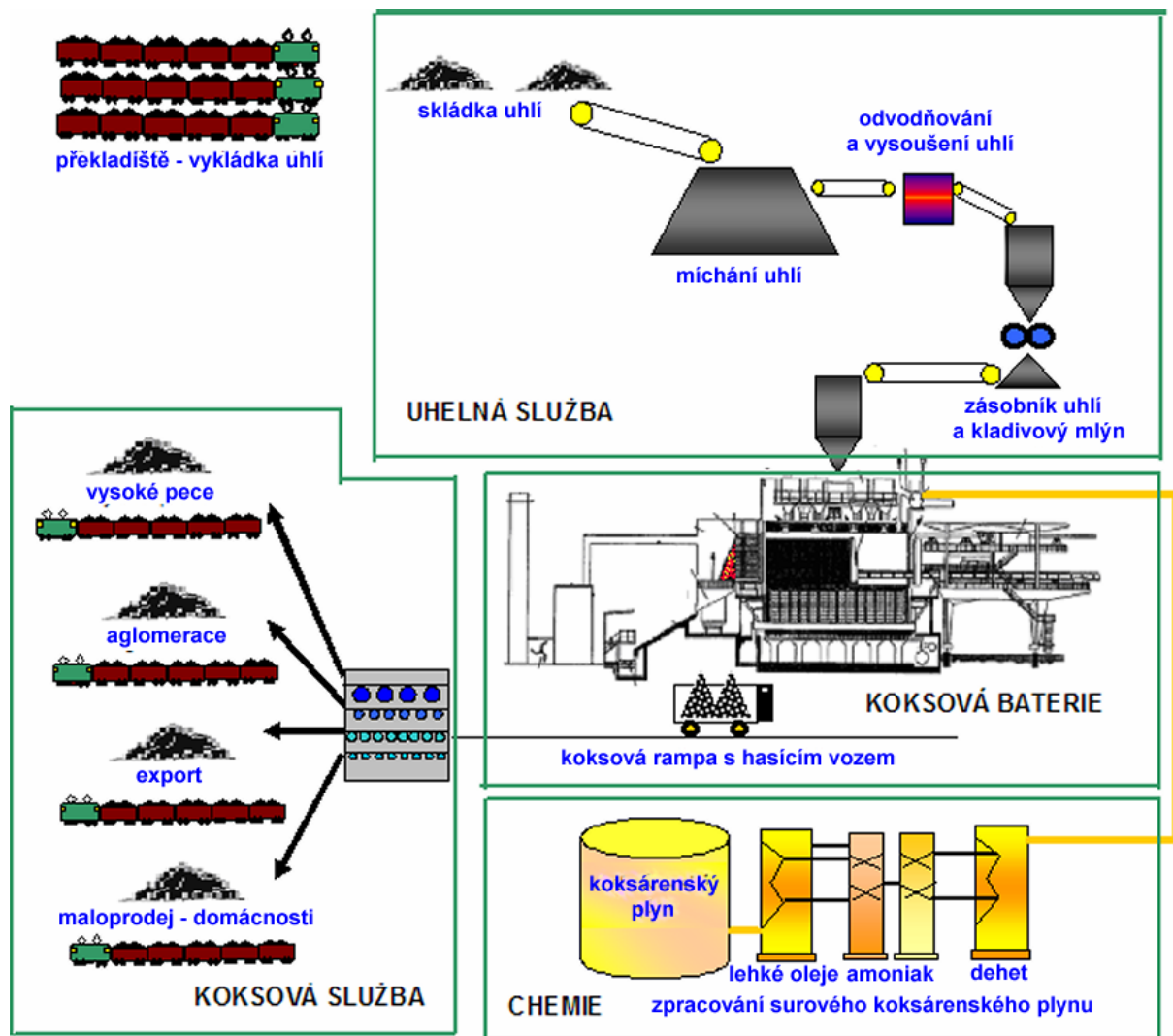
Zjednodušené schéma celé soustavy pochodů a procesů potřebných k výrobě koksu je znázorněno na obr.3.

Následně jsou podrobněji popsány hlavní již uvedené kroky.

3.1 Uhelná služba

Uhelná služba představuje procesy spojené s manipulací s uhlím, která zahrnuje především následující etapy :

- vyklápění uhlí: uhlí se vyklopí z vlaků na přepravní systém nebo na složiště. Používají se obvykle velké jeřáby s drapáky;
- skládka uhlí: koksovny jsou běžně spojeny s velkou plochou uhelných skládek;
- přeprava uhlí: musí se počítat s přepravou uhlí dopravníky, možnými přepravními uzly mimo budovy a přepravu po silnicích;
- příprava uhlí: přípravou uhlí se rozumí promíchávání ve vrstvách, míšení v zásobnících a drcení, během mísícího procesu se mohou přidávat také látky k recyklaci, jako např. dehet;
- zavážení uhelné věže pomocí zavážecích vozů.



Obr. 3 Dekompozice koksovny

3.2 Koksová baterie

Subsystém koksové baterie zahrnuje procesy v koksovacích komorách baterie.

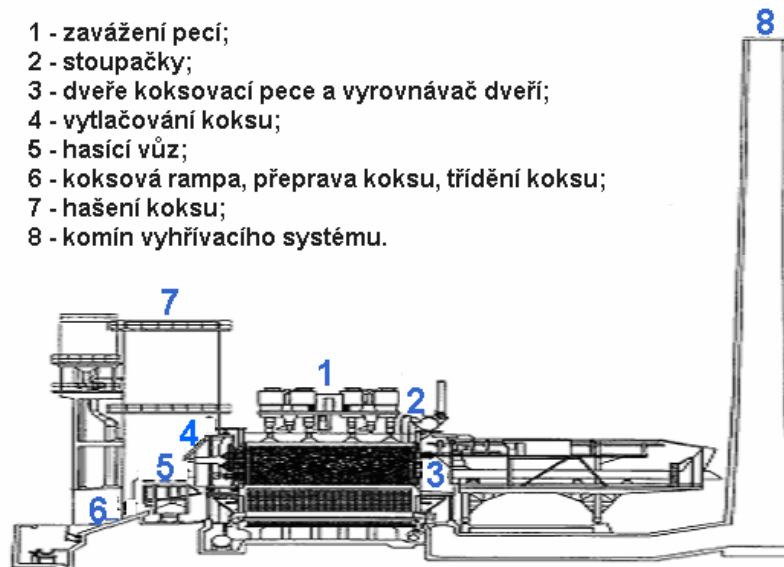
V roce 1940 byl vyvinut základní prototyp moderních koksovacích pecí. Pece byly asi 12 m dlouhé, 4 m vysoké a 0,5 m široké, vybavené na obou stranách dveřmi. Přívod vzduchu se předehtřival horkým vystupujícím plynem. Rekuperace odpadního tepla umožnila vyšší teploty a zvýšila rychlost koksování. Od roku 1940 se proces mechanizoval a zdokonalily se konstrukční materiály bez významných projektových úprav. Současné soustavy mohou obsahovat až 60 komor o rozměrech 14 m délky a 6 m výšky. S ohledem na přenos tepla byla šířka ponechána v rozmezí 0,3 – 0,6 m. Každá pec v baterii obsáhne až 30 t uhlí. Obr. 5 takovou baterii ukazuje. Nicméně v dnešní době postavené koksovny dále zvětšily rozměry. Např. komory nové koksovny Kaiserstuhle, které byly uvedeny do provozu na konci roku 1992 jsou 18 m dlouhé, 7,6 m vysoké a 0,61 m široké a pojmu cca 65 t uhlí.



Obr. 4 Koksovna – koksová baterie [IPPC]

Operace v komorách koksová baterie zahrnují:

- zavážení uhlí
- ohřívání /zapálení komor
- koksování
- vytlačování koksu
- hašení koksu

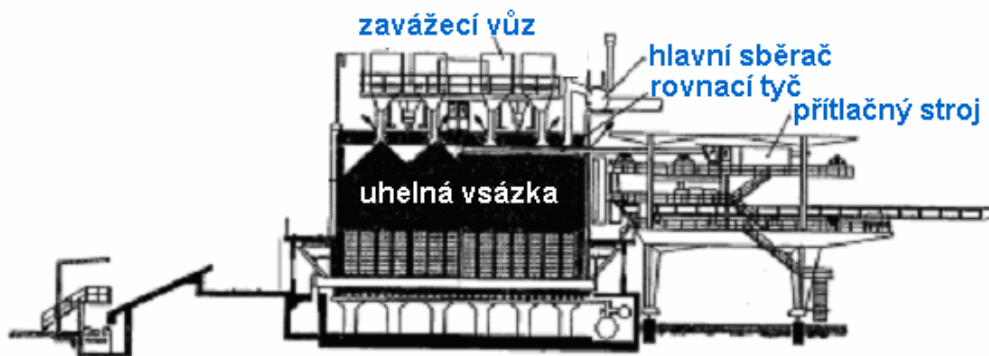


Obr. 5 Řez koksovací baterií

3.2.1 Zavážení uhlí

Pro zavážení koksovacích komor práškovým uhlím (70-85 % pod 3 mm) zavážecími otvory existuje několik technik. Nejběžnější technikou je gravitační zavážení zavážecími vozy (Obr. 6). To může být nepřetržitě, postupné nebo etapové pomocí regulované rychlosti vodorovného šroubového podavače nebo točen.

Komora se naplňuje postupným vypouštěním uhlí z jednotlivých zásobníků na plnicím voze ve stanoveném pořadí tak, aby se vsázka rovnoměrně uložila v komoře. Před ukončením plnění se urovná její povrch srovnávací tyčí. Tím se vytvoří sběrný prostor nad vsázkou, v němž se shromažďují karbonizační plyny a páry během koksování.

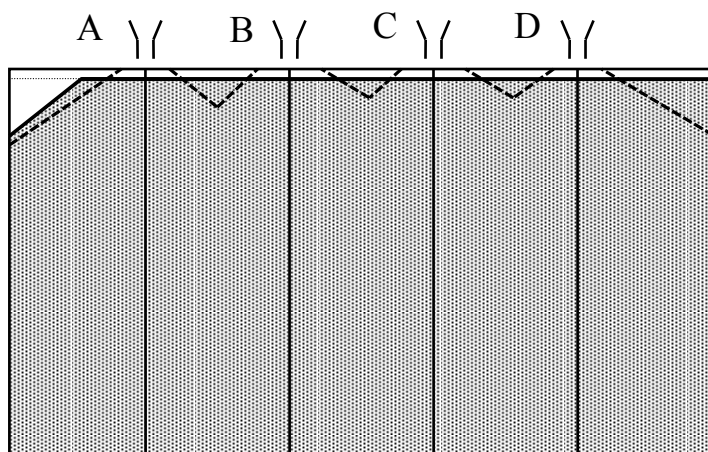


Obr. 6 Technologické schéma zavážení koksovací komory uhlím pomocí zavážecích vozů

3.2.2 Optimalizace zvýšení sypné hustoty koksovací vsázky

Na následujících obrázcích je naznačena problematika optimalizace zavážení koksovací komory. Jako nezávislé proměnné zde vystupují: pořadí jednotlivých zásobníků, čas začátku sypání, obsah jednotlivých zásobníků, počet pohybů srovnávací tyčí. Výstupními závislými proměnnými jsou vyhrnutá vsázka, zaplněný objem koksovací komory a celkový čas plnění.

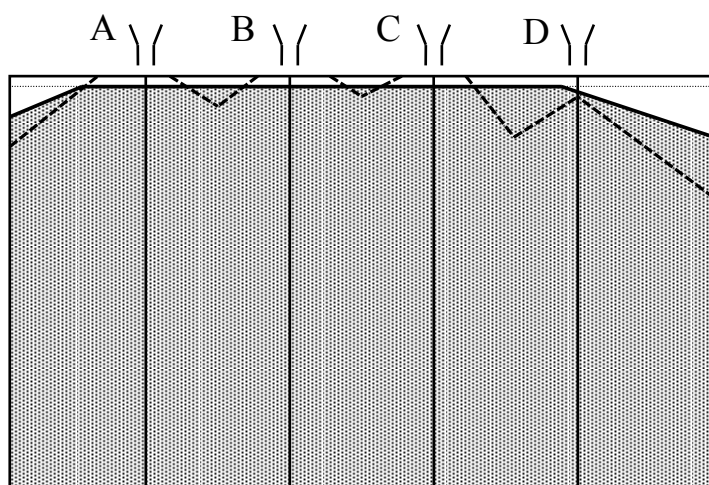
Systém plnění D-A-BC



Zásobník	Obsah [%]	Doba sypání [s]		
		Od	Do	Čistý čas
A	26,39	5	100	95
B	23,61	10	105	95
C	23,61	10	110	100
D	26,39	0	115	115

Počet pohybů srovnávací tyče 3
Vyhrnutá vsázka 1,26 %

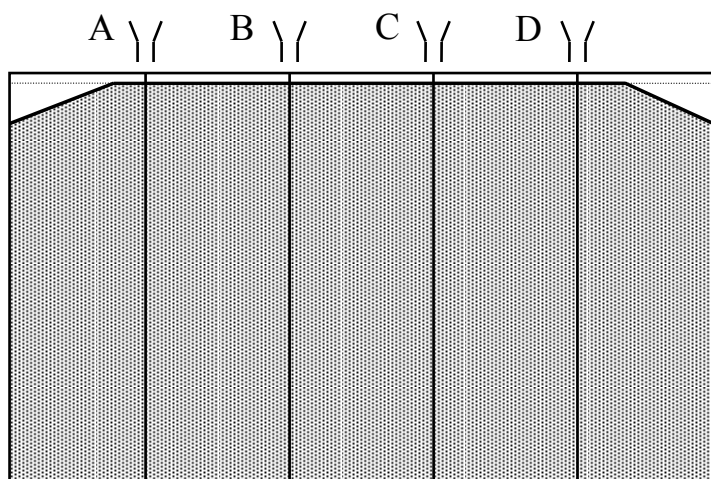
Systém plnění D-A-BC



Zásobník	Obsah [%]	Doba sypání [s]		
		Od	Do	Čistý čas
A	26,38	3	136	133
B	24,31	10	132	122
C	24,31	10	118	108
D	25,00	0	109	109

Počet pohybů srovnávací tyče 3
Vyhrnutá vsázka 0 %

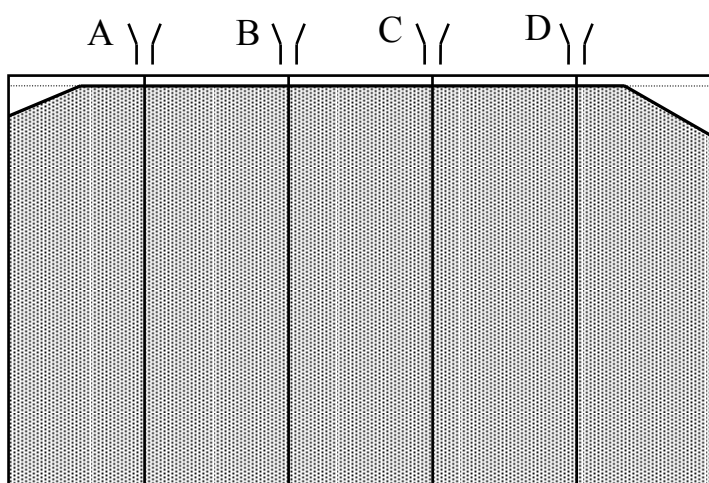
Systém plnění AD-BC



Zásobník	Obsah [%]	Doba sypání [s]		
		Od	Do	Čistý čas
A	26,03	0	112	112
B	24,65	30	101	71
C	23,29	30	111	81
D	26,03	0	92	92

Počet pohybů srovnávací tyče 4
Vyhrnutá vsázka 0 %

Systém plnění BC-AD



Zásobník	Obsah [%]	Doba sypání [s]		
		Od	Do	Čistý čas
A	25,34	30	149	119
B	25,34	0	156	156
C	24,66	0	122	122
D	24,66	30	130	100

Počet pohybů srovnávací tyče 3
Vyhrnutá vsázka 0 %

Legenda

- sběrný prostor
- na konci sypání, před pohybem srovnávací tyče
- po pohybu srovnávací tyče

Další systémy jsou možné rovněž. Bez ohledu na systém se přísun uhlí musí provádět za regulace. Pro všechny tyto systémy se uvádějí obecná opatření. Účelem těchto opatření je dosáhnout "bezdýméno" zavážení (zavážení s omezenými emisemi).

Zavážení potrubím nebo pěchovaného zavážení se používá vzácně.

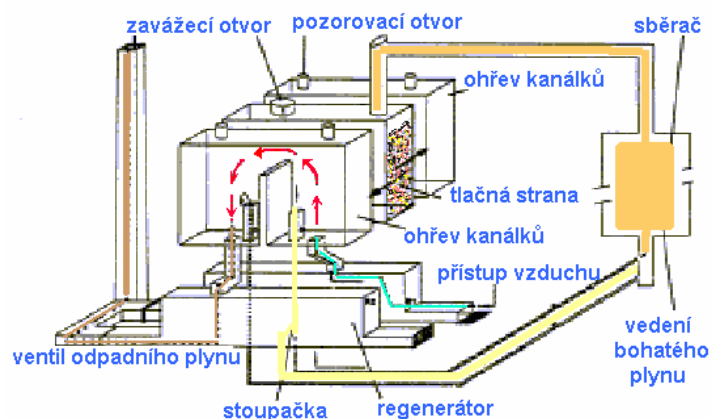
V závislosti na uspořádání závodu lze použít jednu, nebo kombinace více technik

3.2.3 Ohřev/ zapalování komor

Jednotlivé koksovací komory jsou odděleny vyhřívanými stěnami. Ty obsahují určitý počet topných kanálků s tryskami pro dodávané palivo a s jednou nebo více boxy pro přívod vzduchu v závislosti na výšce stěny koksovací pece. Průměrná teplota vezděné trysky charakteristické pro provoz vyhřívání spalinami se obvykle pohybuje mezi 1150 a 1350 ° C.

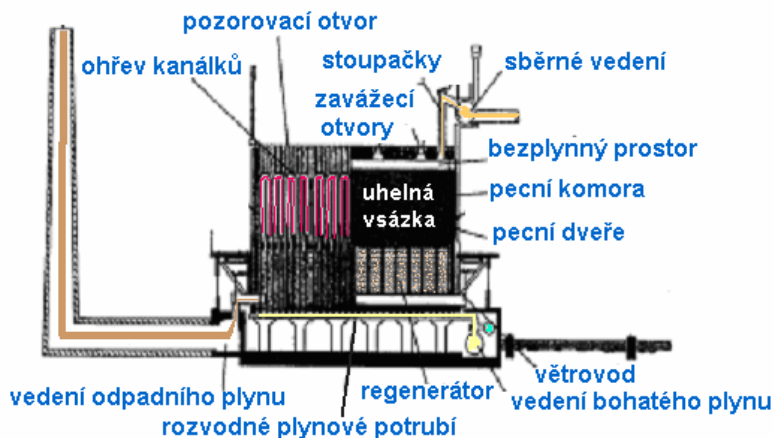
Obvykle se jako paliva používá vyčištěného koksárenského plynu, ale může se rovněž použít i dalších plynů jako (obohaceného) vysokopecního plynu.

Aby se zlepšila energetická účinnost, jsou vpravo pod pecemi umístěny regenerátory pro výměnu tepla z kouřových plynů se spalovacím vzduchem nebo vysokopecním plynem. Obr. 7 ukazuje schematický diagram systému ohřívání koksovací pece s identifikací emisních bodů. Nejsou-li ohřívací stěny dokonale plynotěsné z důvodů trhlin, (což je velmi častý případ), proniká koksový plyn do spalin a bude s nimi odcházet komínem.



Obr. 7 Schéma ohřívacího systému u koksovacích pecí.

Znázorněný náčrt platí pro jednostupňové spalování, kdežto většina dnešních moderních závodů má vícestupňové spalování; používaný koksárenský plyn se předem běžně odsiřuje



Obr. 8 Schéma ohřívacího systému u koksovacích pecí.

3.2.4 Koksování

Proces karbonizace začíná bezprostředně po zavážce uhlím. Odchází plyn a vlhkost, která je okolo 8-11 % vsazeného uhlí. Tento surový koksárenský plyn se vyfukuje stoupačkami do hlavního sběrného vedení. Vysoká výhřevnost tohoto plynu znamená, že se může po vyčištění (viz úprava KP) použít jako palivo (např. pro ohřev baterie).

Uhlí se zahřívá vlivem vyhřívacího/spalovacího systému popsaného výše a zůstává v koksovací peci dokud střed uhelné vsázky nedosáhne teploty 1000 – 1100 ° C.

Koksovací proces je ukončen v závislosti na šířce pece a podmínkách vyhřívání po 14 - 24 hodinách. Obr. 9 ukazuje hlavní zdroje emisí během koksování. Mohou to být úniky dveřmi, emise z plnicích otvorů a stoupaček a také v případě prasklin ve stěnách i emise koksárenského plynu přes ohřivací plyny.

Při karbonizaci uhlí probíhají složité fyzikálně chemické a chemické reakce, následkem nichž se uvolňují paroplynové produkty a vzniká koks. Současně probíhají fyzikální procesy, které mají podstatný vliv na tvorbu koksu. /Brož-hutnictví železa/

První stádium odpovídá ohřevu uhlí do 200 °C. Z energetického hlediska jsou vnitromolekulární vazby v organických látkách silnější než vazby mezimolekulární. Proto se uvolňují nízkomolekulární plyny (CO₂, CO, H₂O aj.) a snižuje se zastoupení skupin OH a COOH. Zásadní degradace strukturního řetězce neprobíhá.

Druhé stádium odpovídá teplotám 200 až 350 °C při nich nedochází k podstatnému úbytku hmoty, tepelné vibrace molekul napomáhají další uvolňování H₂O, CO, CO₂, CH₄ a H₂. končí významné vnitromolekulární přeskupení.

Ve třetí stádiu od 350 do 450 °C dochází k nevýraznému úbytku hmoty a sypký stav uhelné vsázky se začíná měnit v plastický a pozorujeme uvolňování dehtu.

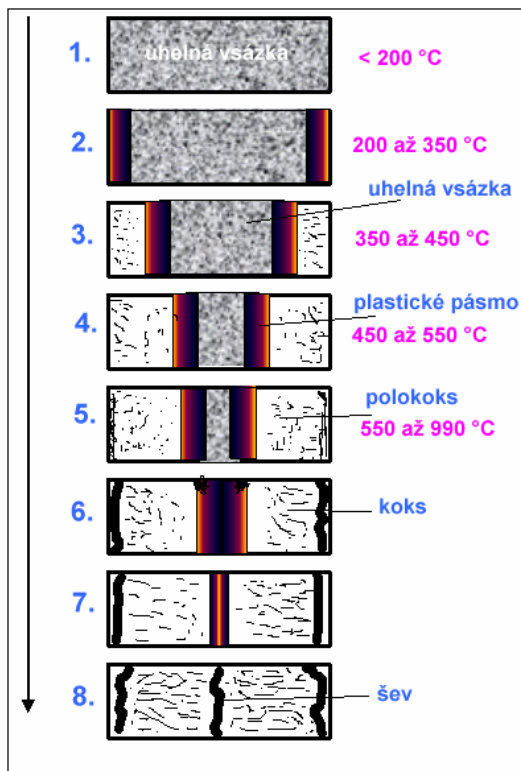
Čtvrté stádium odpovídá teplotám 450 až 550 °C, při nichž dochází k prudkému úbytku hmoty zejména následkem uvolňování dehtu.

Tuhne plastické fáze, roste poměr C:H, pokračuje uvolňování nízkomolekulárních plynů.

Páté stádium 550 až 990 °C je doprovázeno postupným úbytkem hmoty vlivem úniku nízkomolekulárních plynů zejména vodíku. Stále se zvyšuje poměr C:H a také roste skutečná hustota koksu. Teplot 500 až 800 °C se vlivem smršťování mění geometrické rozměry kusů koksu.

Zahříváním vsázky (3. až 5. stádium) se plastické vrstvy posunují ke středu komory za nimi je již nízkoteplotní koks (polokoks), který dalším zvyšováním teploty přechází v koks. V určitém okamžiku dochází k setkání obou plastických vrstev v ose komory (6. stádium) a vytváří se tzv. dehtový šev. Karbonizace je dokončena prostupem tepla (7. a 8. stádium) Vlivem smrštění v závěrečných fázích karbonizace se vzniklý koks vzdaluje od stěny komory a švem je rozděluje na dvě poloviny. Tloušťka plastické vrstvy závisí na koksovacích vlastnostech uhlí a je 15 až 23 mm, čím je tato tloušťka větší tím lépe proces probíhá.

Z 1000 kg uhlí se získá mezi 750-800 kg koksu a cca 325 m³ koksárenského plynu, což odpovídá cca 187 kg (koksárenského plynu). Je třeba uvést, že výtěžek koksu, produkce koksárenského plynu a složení závisí do značné míry na složení uhlí a době koksování.



Obr. 9 Schéma koksovacího pochodu

3.2.5 Vytlačování a hašení koksu

Při vytlačování koksu musí být sejmuty pecní dveře a připraveny potřebné obsluhovací stroje. Při tom pořadí komor se volí podle tzv. grafikonu cykličnosti tvořeného čísly komor a časem. Tato pořadí doznala různých modifikací (pětkový, desítkový systém aj.), tzv. tlačení na každé páté resp. desáté peci apod., všechny však vycházejí z těchto požadavků:

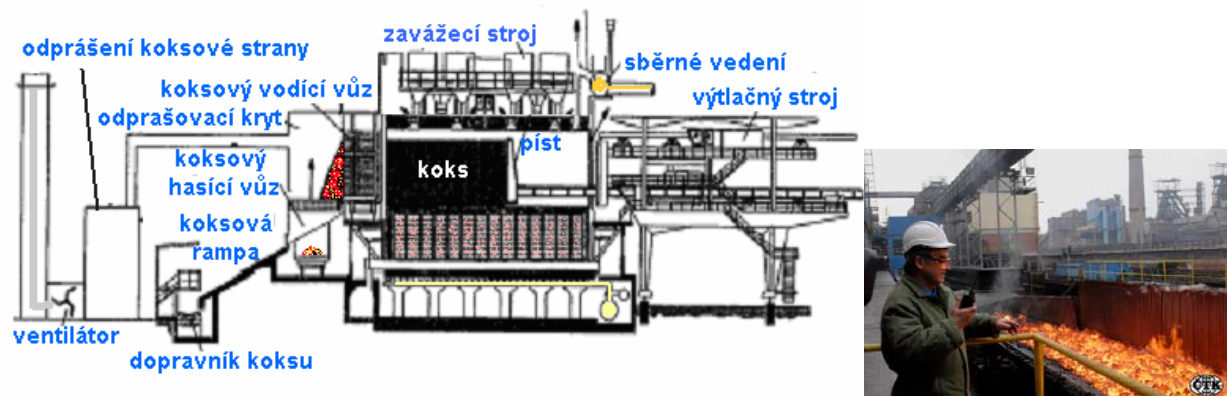
- Zabránit přílišnému ochlazení zdiva topné stěny, vyvolanému obsazením sousedních komor vlhkou vsázkou.
- Kompenzovat tlaky na zdivo, vznikající zejména při vytlačování koksu, protitlakem dosud nesmrštěné uhelné vsázky vedlejších komor.

Obvykle se sousední komory nacházejí ve 40 až 50% koksovací doby od komory vytlačované. Zcela karbonizovaný koks se vytlačuje ven z koksovací komory pomocí pístu výtlačného stroje do kontejneru (Obr.10).

Styk se vzdušným kyslíkem způsobuje, že se koks začne ihned žhavit.

Kontejnerem může být koksový hasící vůz, který převezde horký koks do hasící věže. Zde se koks hasí přímo velkými objemy vody. Vodní frakce, která se neodpaří, se může zachycovat a použít pro příští dávku, tudíž se předchází emisím do odpadní vody.

Žhavý koks, vytlačený z komory do hasícího vozu se dosud převážně hasí vodou v hasící věži. Cyklus hašení má několik fází, nejprve je koks sprchován asi 150 sekund vodou. Po odkapání přebytku vody se vyklopí na koksovou rampu k odpaření povrchové vody, což trvá zhruba 30 min. Rampa představuje nakloněnou plochu, jejíž sklon činí 28°, na spodní hraně uzavřenou soustavou automaticky otevíraných hradítek, která umožňují posun koksu na rampový pás. Jím se koks dopravuje do třídírny.



Obr. 10 Vytlačování karbonizovaného koksu z koksovací komory do hasícího vozu

V alternativním systému, známém jako suché hašení, převáží hasící vůz horký koks do vertikální hasící komory. Inertní hasící plyn cirkuluje komorou, která je izolována od atmosféry, tedy se předchází spalování ochlazeného koksu. Plyn se chladí ve výměníku tepla, aby se rekuperovala tepelná energie.

3.2.6 Manipulace s koksem a třídění

Po hašení se koks skladuje na zásobních skládkách, ze kterých se přepravuje dopravníky (s uzlovými překladišti) po silnici, železnici, nebo kombinací obou. Nakonec se koks drtí a třídí. Menší frakce (< 20 mm) se používají obvykle v aglomeračním procesu, větší frakce (20 - 70 mm) se vkládají do vysoké pece.

3.3 ASŘ koksovny

3.3.1 Řídicí systém koksovny

Řídicí systém koksovny se člení na podsystémy pro řízení jednotlivých výrobních úseků.

Uhelná služba – řízení dopravních linek je realizováno většinou pomocí sekvenčních automatů nebo řídicího počítače. Musí umožňovat volbu a spouštění dopravních cest a jejich provoz podle blokovacích podmínek. Při použití řídicího počítače je možné automaticky řídit míchání uhelné směsi.

Koksová baterie – především řízení topení u jednotlivých tepelných bloků, kde přívod plynu se řídí automaticky pro celý blok. Teplota se měří buď termočlánky buď v topných stěnách nebo za generátory, kde však je měření méně přesné. V obou případech se množství přiváděného plynu reguluje podle průměru změřených hodnot. Kromě toho podle průměrných teplot se na jednotlivých měřicích místech se upravuje rozdělení plynu pro jednotlivé topné stěny. Reverze topení se provádí v pravidelných intervalech. Při řízení počítačem je možné reverzovat podle teploty spalin za regenerátorem.

Je potřeba řídit zavážení koksovací baterie v různých časech, aby bylo dosaženo za pomoci srovnávací tyče optimální naplnění.

Koksová služba - řízení je analogické jako u uhelné služby.

Chemie – pro řízení je možné použití řídicího počítače pro informační systém nebo pro přímé číslicové řízení regulačních obvodů.

3.3.2 Systémy automatické regulace tepelného režimu koksárenské baterie

Stabilizace tepelného režimu koksárenské baterie je jedním z nejobtížnějších problémů klasické regulace.

Automatická regulace směšovací stanice topných plynů

Účel: stabilizace tepelného příkonu do systému

Řízení pracuje na principu vlečné regulace směšovacího poměru topných plynů s korekcí od Wobbého čísla nebo od výhřevnosti směšného plynu

$$\text{Wobbého číslo } W = \frac{H}{\sqrt{S}}$$

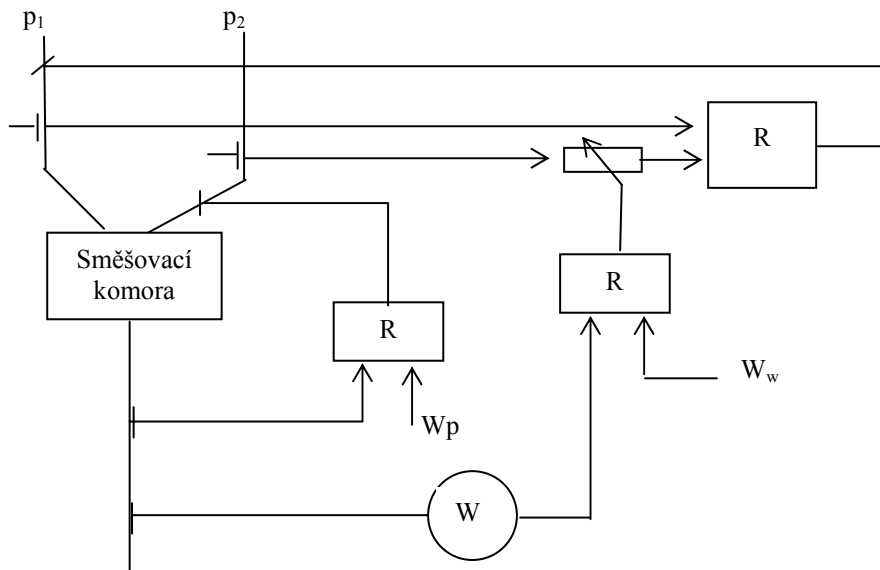
H – výhřevnost, kterou je nutno spočítat z tepelného výkonu $P = Q \cdot H$

$$S - \text{hutnost plynu } S = \frac{\gamma_{\text{plyn}}}{\gamma_{\text{vzduch}}}$$

$$Q = c \cdot \frac{\sqrt{\Delta p}}{\sqrt{\gamma_{\text{plyn}}}}$$

$$P = c \cdot \frac{\sqrt{\Delta p}}{\sqrt{\gamma_{\text{plyn}}}} \cdot H = c \cdot \frac{\sqrt{\Delta p}}{\sqrt{\gamma_{\text{plyn}}}} \cdot W \cdot \frac{\sqrt{\gamma_{\text{plyn}}}}{\sqrt{\gamma_{\text{vzduch}}}} = c \cdot \frac{\sqrt{\Delta p}}{\sqrt{\gamma_{\text{vzduch}}}} \cdot W$$

W – lze měřit



Obr. 11 Schéma regulace tepelného příkonu

Důvodem této regulace je vyloučení vlivu složení plynu. Jestliže provádíme regulaci na konstantní Wobbeho číslo snažíme se o konstantní tepelný výkon.

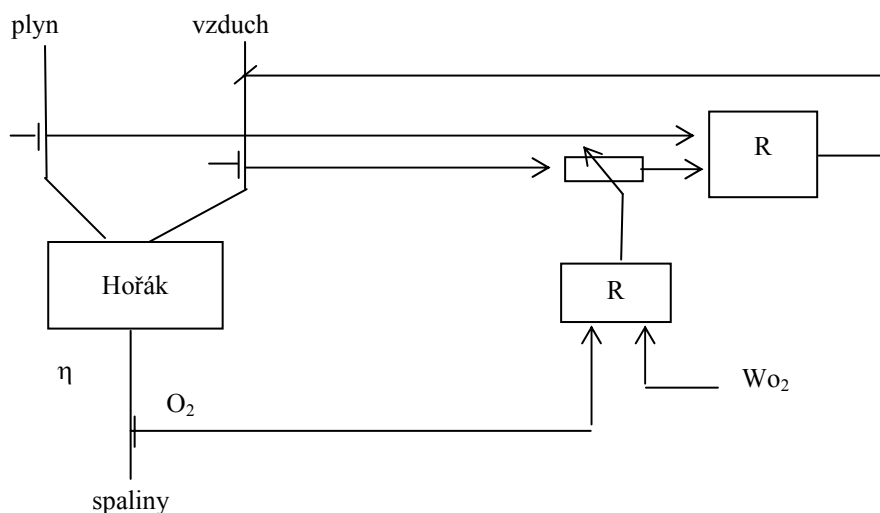
Systém řízení koksárenské baterie

Je rozdělen na dva způsoby:

- Regulace poměru tlaku plynu ve větvích
- Regulace poměru průtočných množství plynu ve větvích

Jedná se o problematiku stabilizace žádané veličiny

Regulace dle obsahu kyslíku ve spalínách (spalovacího poměru)



Obr. 12 Regulace spalovacího poměru

Problém:

- zjišťování množství kyslíku (zdlouhavé, nákladné)
- nezaručuje maximální účinnost.

$$V_{vzd} \cdot \rho = V_{plyn}$$

$$\rho = \frac{V_{plyn}}{V_{vzd}}$$

η - účinnost

4. PŘÍPRAVA VSÁZKY PRO VYSOKOPECNÍ POCHOD

V souladu s členěním výrobní soustavy integrovaného hutního podniku rozděluje se oblast přípravy vsázky pro vysokopecní proces na dva úseky:

- studený úsek: výklopníky, drtírna, třídírna, rudiště a homogenizační skládka,
- teplý úsek: aglomerace resp. peltizace, tzn. směšovací zásobníky, příprava směsi, spékací pásy a chlazení.

4.1 Studený úsek přípravy vsázky

V technologickém výrobním úseku má studený úsek za úkol zajistit pro vysokopecní závod vykládání výchozích surovin výroby surového železa z železničních vozů (rudy, koncentráty, vápenec, dolomit a jiné) a jejich granulometrickou úpravu drcením a tříděním. Dalším důležitým úkolem je kvalitativní úprava rudných komponent aglomerační směsi v homogenizačních skládkách tak, aby rudná směs odeslaná z homogenizačních hromad pro následný provoz aglomerace měla zprůměrněnou granulometrickou strukturu a zprůměrněnou chemickou analýzu. Schéma uspořádání homogenizační skládky je znázorněno na obr. 13.

Dokonalá homogenizace rudné složky aglomerační směsi ve spojení s přidáváním některých přísad (vápenec) je velmi důležitým hlediskem při dalším zrovnoměnění obsahu železa a zásaditosti hotového aglomerátu.

Aglomerační prachové rudy, koncentráty a přísady (vápenec) jsou z výklopníků a mlýnice koksů a vápenec dopravovány systémem dopravních pásů do objektu dávkovacích zásobníků, kde jsou podle druhů skladovány.

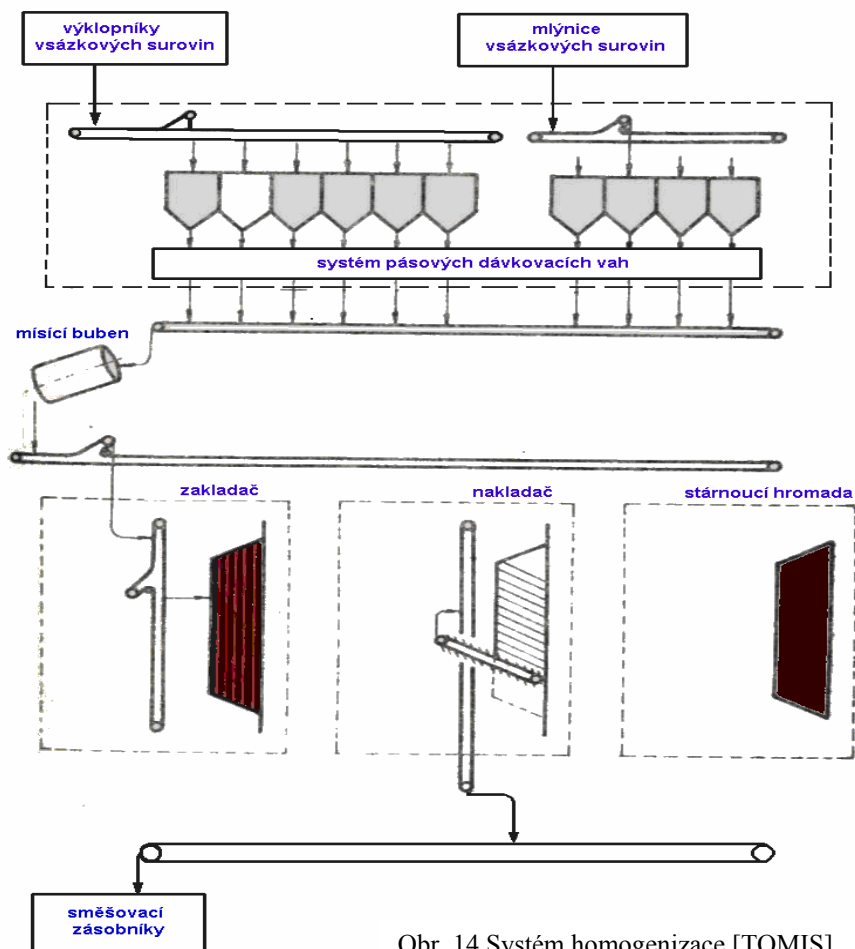
Podle své chemické analýzy a granulometrických vlastností jsou rudy a přísady plynule dávkovány pásovými dávkovacími vahami v předvoleném poměru, míseny v mísícím bubnu (zde může být směs dovlhčena), dopravovány k homogenizační skládce a zakládány zakladačem v jednotlivých vrstvách do homogenizačních hromad (šířka hromady je 69 m, v koruně podle sypaného úhlu cca 43 m, výška hromady 13 m, její délka cca 100 m i více (celková délka homogenizační skládky obvykle kolem 700 m). Jednotlivá vrstva je tvořena příčným pohybem shazovací smyčky dopravního pásu umístěného v portálu zakladače a postupným projížděním portálu podél homogenizační hromady.



Obr. 13 Homogenizační hromady

Rudná směs, která je uložena do hromad v horizontálních vrstvách, je po vytvoření hromady a "odležení" odebírána korečkovým elevátorem naběrače, který je vytvořen opět jako pojezdny portál s dopravním pásem, který se pohybuje jako samostatný stroj pod portálem zakladače. Korečkový naběrač odebírá z hromady šikmé vrstvy směsi v podélném směru hromady po celé

její ploše. Uvedený systém homogenizace slouží jako příklad pro poznání problematiky homogenizačních skládek z hlediska jejich řízení a ovládání. V jiných hutních závodech jsou používány jiné konstrukce homogenizačních strojů, v zásadě se však jedná shodnou problematiku.



Obr. 14 Systém homogenizace [TOMIS]

4.1.1 Systém ASŘ TP studeného úseku přípravy vsázky

Hlavní pozornost je soustředěna ve studeném úseku přípravy vsázky na řízení technologických agregátů a dopravních pásů, které výlučně zajišťují dopravu surovin mezi jednotlivými agregáty, počínaje výklopníky a konče homogenizačními skládkami.

Na příkladu řešení řídicího systému studeného úseku přípravy vsázky lze rozlišit rozdílnou složitost problematiky ovládání jednotlivých výrobních agregátů i složitějších technologických souborů. Některé pohony lze ovládat bez jakýchkoliv vazeb, jiné tvoří skupiny pohonů se složitými funkčními vazbami.

Z hlediska řízení musí být dodrženy tyto zásady

- dodržet logické vazby a technologické principy jednotlivých navazujících částí technologické linky;
- zajistit a kontrolovat plnění požadovaných technologických funkcí;
- kontrolovat provoz zařízení a předejít ztrátám při případných poruchách;
- snížit na nejmenší možnou míru počet obslužného personálu a zaručit jeho bezpečnost;

- snížit nároky na energii operativním vypínáním zařízení a dopravních linek;
- evidovat časové využití technologických zařízení a sledovat výskyt poruch;
- soustředit řízení chodu do jednoho nebo je-li to nezbytné do nejmenšího možného počtu řídicích center - velínů.

Aplikací těchto zásad vyplývají následující úkoly řízení:

- **Volba linky** - před uvedením dopravní linky do chodu provádí obsluha její volbu. Volba je logickým zobrazením technologické cesty, (technologická zařízení, dopravní pásy zásobníky apod.), kterou má být surovina dopravována resp. přetvářena. Obvykle se volba provádí tlačítky pro počáteční a konečný pohon dopravní linky.
- **Programování** - provádí se například u klap a reverzních pásů, kde se tok materiálu rozděluje nebo u zavážených zásobníků, z nichž pouze některé mají být plněny (směšovací zásobníky aglomerace, zásobníky rudného mostu aj.). Programování je možno provádět různými technickými prostředky (tlačítka, voliče) vždy tak, že se určí pokračování technologické linky.
- **Startování a výstražná signalizace** - Startovat lze pouze navolenou, to znamená i naprogramovanou linku, vždy ve směru proti toku materiálu. Při startování, které lze provádět volbou počátečního a konečného čísla linky podobné jako volbu, řídicí systém zkontroluje, jak jsou splněny podmínky startu, zapojí výstražnou signalizaci (houkačka, světelný signál) v prostoru startované linky a uvádí do chodu pohony linky v pořadí daném technologickými podmínkami. Po naběhnutí celé linky jsou výstražná signalizace a startování ukončeny, Je-li některý pohon linky v poruše nebo v opravárenském provozu, ukončí se startování u technologicky následujícího pohonu, při čemž nastartovaná část linky zůstává v provozu. Startování každého pohonu je vždy funkčně a časově sledováno a při nesouladu nebo časovém překročení hlášeno jako porucha.
- **Zastavení a doběh** - Volbou počátku a konce linky a příslušným tlačítkem lze dopravní linku vypnout bezprostředně a bez ohledu na to, zda na ní zůstane dopravovaný nebo přetvářeny materiál. Tento způsob odstavení je nezbytný při jakémkoliv havarijním stavu nebo stavu ohrožujícím bezpečnost obsluhy (kdekoliv v provozu lze vypnout tlačítka nebo lanky s vypínači přímo). Je-li potřebné linku před vypnutím vyprázdnit, je linka vypínána postupně počínaje začátkem linky v časových intervalech, které zaručují vyprázdnění dopravního pásu nebo jiného technologického zařízení (drtič, třídíč, mísící buben a pod.).
- **Způsob ovládání** - Podmínky provozu vyžadují, aby systém pro řízení technologických linek umožňoval ovládání několika odlišnými způsoby, podle zvyklostí jednotlivých hutních podniků např.
 - *centrální ovládání* se provádí z centrálního velínu plně automaticky. Obsluha podle potřeby volí a startuje dopravní linky, které se uvádí do chodu automaticky podle principů popsaných výše. Chod zařízení je vhodným způsobem sledován a signalizován (monitor počítače, signál, tablo a jiné). Na výskyt poruch je obsluha výstražně upozorněna.
 - *dálkové ovládání* v některých provezech si provozní situace v případech odstraňování důsledků poruch a havárií vynucuje i doplnění řídicího systému o dálkové ovládání jednotlivých pohonů. V tomto případě je však nutno pozornost věnovat bezpečnosti provozní obsluhy zajištěním výstražné signalizace a dokonalou informovaností operátora o skutečném stavu zařízení např. optickou signalizací, použitím průmyslové televize nebo jinak,
 - *místní ovládání* je určeno pro ovládání pohonů technologického zařízení, jehož start či provoz vyžaduje trvalý dozor a nemůže být dálkové spouštěn,

- *opravárenský provoz* umožňuje provádění oprav technologického zařízení, provádění revizních prohlídek a čištění a kontrolního spouštění před přepnutím do centrálního ovládání,
- *nouzové vypínání* netvoří samostatný způsob ovládání. Nezbytně doplňuje předcházející způsoby ovládání, se kterými je trvale v činnosti. Vypínání zajišťuje možnost vypnutí v případě ohrožení pracovníků nebo zařízení v souladu s normou ČSN.

4.1.2 Technické prostředky pro řízení studeného úseku

- 1) **Volně programovatelný automat** - výhodou je snazší přizpůsobivost provozním technologickým změnám a úpravám řídicího algoritmu
- 2) **Kombinační a sekvenční obvody** - pomocí logických obvodů, algoritmy jsou řešeny přepínáním pevně elektricky propojených částí

Vedlejší úlohy

- dodržování zadaného složení směsi (chemická analýza)
- řízení geometrického uložení homogenizační skládky (granulometrie, změna množství)
- stabilizace chemických a fyzikálních vlastností směsi

4.1.3 Řízení homogenizace surovin:

Stabilizaci fyzikálně-chemických vlastností rudné směsi odebírané z homogenizačních skládek lze realizovat aplikací automatizovaného systému řízení technologického procesu programového zakládání jednotlivých surovin do homogenizačních hromad.

Základní úlohou řídicího systému je řízení:

- předem požadovaného chemického složení vsázky,
- optimálního střídání ucelených vrstev surovin po výšce hromady a
- minimálního zdržného železničních vozů.

Je zřejmé, že splnění těchto úloh není snadné a vynucuje si řadu opatření nejen v organizaci vyklápění rudních podílů směsi a přísad, ale i v uspořádání a doplnění technologického zařízení navazujícího na vlastní homogenizační stroj o vážící zařízení, regulační uzly apod..

V souladu s pravidlem, podle kterého je vždy nutno složité řídicí systémy vhodné dekomponovat - členit v dílčí systémy, jejichž řešení je relativně snazší, lze i funkci řídicího systému homogenizace členit v následující části:

- A) Podsystem vyklápění - má sladit frekvenci vyklápění vagonů, to je přísunu rud, s potřebami ukládání ucelených a stejnoměrných vrstev a vyloučit kolísání zakládaného množství řízením frekvence vyklápění,
- B) Podsystem základného množství - řídí váhové množství materiálu vynášeného z dávkovacího zásobníku, tak aby bylo dosaženo požadovaného chemického složení směsi
- C) Podsystem přidávání přísad - na váhově identifikovanou a v chemickém složení určenou vrstvu je nutno v toku materiálu plynule přidávat množství zásaditých přísad
- D) Podsystem řízení ucelené vrstvy - základní údaje o geometrii zakládané hromady a znalost přísunovaného množství umožňují stanovit celkovou váhu potřebnou pro založení ucelené vrstvy
- E) Podsystem řízení optimálního střídání vrstev - optimální střídání vrstev je závislé na mnoha okolnostech, z nichž je možno uvést volbu nejvhodnější suroviny s přísunutých vlakových souprav pro zakládání příštích vrstev. To je ovlivněno skladbou dosud

založených vrstev, technologickými požadavky a velikostí ekonomických nákladů za překročení lhůty vykládky vagónu.

4.2 Teplý úsek přípravy vsázky

Na technologický úsek studených cest navazuje v souladu s tokem materiálu teplý úsek přípravy vsázky. Úkolem úseku je z dodaných surovin, paliva a přísad vyrobit pro vysoké pece tepelně upravenou rudnou směs (aglomerát, pelety) v požadované kvalitě. Hlavním měřítkem kvality výroby jsou vhodné složení, granulometrie, redukovatelnost apod., druhým kritériem je vyrobené množství.

Z hlediska technologie teplého úseku přípravy vsázky rozlišujeme:

- aglomerační závody,
- peletizační závody.

4.3 Aglomerační závody

4.3.1 Technologie spékacího procesu

Moderní vysoce výkonné vysoké pece dosahují zlepšeného výkonu přípravou vsázky po stránce fyzikální i metalurgické, což zlepšuje prostupnost a schopnost redukce. Tato příprava znamená aglomeraci pecní vsázky buď spékáním nebo peletizací (viz dále). Vsázka obsahuje směs drobných rud, aditiv, recyklované materiály s obsahem železa z následných procesů, jakými jsou hrubý prach a kal z čištění vysokopecního plynu, válcovenského okuje, slévárenského okuje atd., ke kterým se přidává koksový mour k zapálení směsi.

V Evropě se spékací proces provádí výhradně spodním tahem na kontinuálních pohyblivých roštích (Obr. 15 a Obr. 16)



Obr. 15 Fotografie spékacího pásu se zavázcím zařízením (bubny nebo skluznými žlaby) a zážehovým krytem na začátku pásu [IPPC]

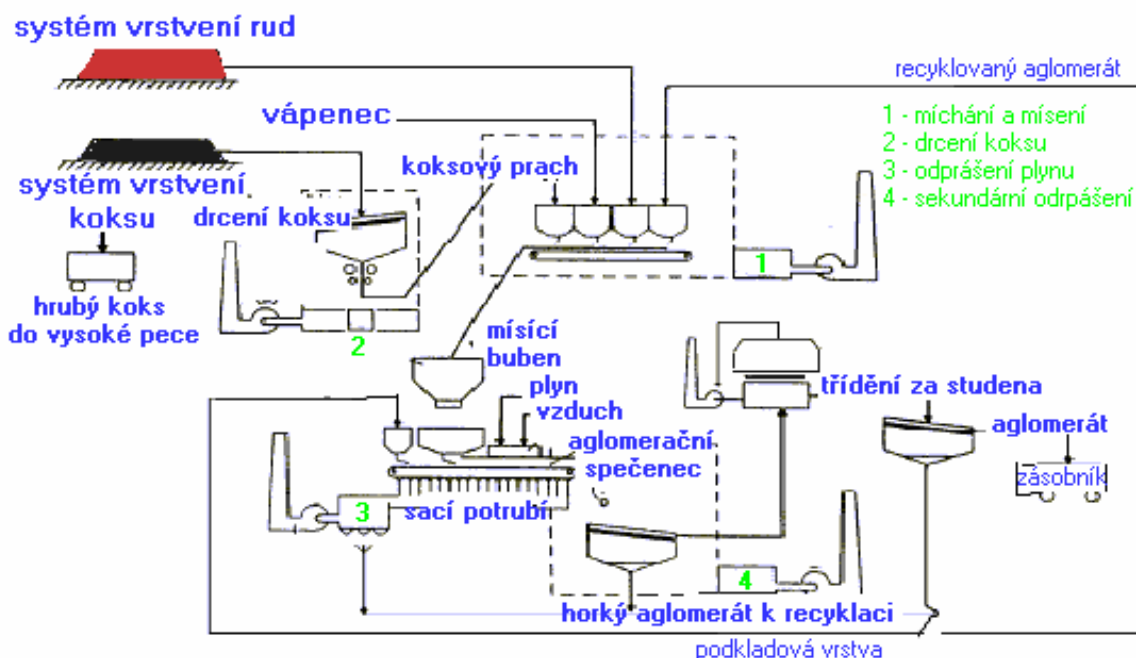
4.3.2 Míchání a příprava směsí surovin

Suroviny je třeba před spékacím procesem promíchat. To obvykle znamená vrstvení materiálů na přípravné ploše v přesných množstvích, potřebných pro spékací operaci. V této etapě se mohou také přidávat některá tavidla, materiály k recyklaci z následně probíhajících pochodů,

jak již bylo uvedeno. Spodní vrstvy rudy se překrývají vrstvou hrubého materiálu, aby se zabránilo víření při závanu větru. Na začátku procesu spékání se promísená ruda přendá do úložného zásobníku na začátku aglomeračního zařízení.

V etapě mísení se mohou do promíchávané rudy přidávat další aditiva jako vápno, olivín, zachycený prach a válcovské okuje, prach z čištění vysokopecního plynu (a mnohem nižší množství kalů) a recyklovaný aglomerát (částice o velikosti < 5 mm) z třídění aglomerátu (Obr. 13). Při pochodu spékání se nejčastěji používá jako palivo koksový mour (o velikosti částic menších než 5 mm). Obvykle se vyrábí přímo na místě v koksovárnách a ukládá se do zásobníků násypek pro následné použití. Mour lze také získat drcením koksu.

V některých případech se používá jako paliva antracitu. Integrované hutní závody s kapacitou koksu, která není dostačující pro zásobování aglomeračního závodu, jsou závislé na externích dodavatelích koksového prachu. Směs rudy a koksového prachu se na dopravníkových pásech váží a sype se do směsného bubnu. Zde se dokončí promíchávání a směs se navlhčí, aby se vytvořily mikropelety, které přispívají k prodyšnosti aglomeračního lože (Obr. 13).



Obr. 16 Schéma aglomeračního závodu [IPPC]

4.3.3 Spékání na aglomeračním pásu

Aglomerační zařízení tvoří v podstatě široký pohyblivý rošt z tepelně odolné litiny. Materiál, který se má spékat je umístěn navrch 30 – 50 mm hluboké vrstvy recyklovaného aglomerátu. Tato spodní vrstva zabraňuje směsi, která se spéká, aby propadala otvory v roštu a chrání rošt před přímým teplem hořící směsi.

V moderních aglomeračních závodech je vrstva materiálů ke spékání asi 400-600 mm hluboká, ale ve starších závodech jsou obvykle lože mělčí.

Na začátku roštu zažehává kryt plynových hořáků koksový mour ve směsi. Při pochodu se spodním tahem prosávají výkonné ventilátory vzduch aglomeračním ložem do rozvodných komor (větrovodů) umístěných na spodní straně podél celé délky roštu.

Jak aglomerovaná směs postupuje podél roštu, je čelo spalování taženo dolů směsí. Tím se vytváří teplo (1330 – 1480 °C) dostatečné k tomu, aby se spekly jemné částice dohromady do porézního slínku, který se nazývá aglomerát. Během aglomeračního procesu probíhá řada chemických i metalurgických reakcí. Ty vedou jak k tvorbě aglomerátu samotného, tak také ke vzniku prachu a plyných emisí. Reakce se překrývají a ovlivňují se vzájemně, nastávají jak reakce v tuhém skupenství, tak heterogenní reakce mezi taveninou, pevnými a plynými fázemi, které se vyskytují v zóně spékání.

V basickém prostředí (1,5 -1,7 CaO/SiO₂ bazicity, která je velmi běžná) probíhají ve spékané směsi následující procesy a reakce:

- odpařování vlhkosti;
- přehřev a kalcinace basických sloučenin, zážeh koksového mouru a reakce mezi uhlíkem, pyritem, chloridovými a fluoridovými sloučeninami a vzdušným kyslíkem;
- rozklad hydrátů a štěpení uhličitánů;
- reakce mezi CaO a hematitem (krevel-druh železné rudy);
- reakce mezi křemičitanovou fází a CaO, jakož i fázemi oxidů železa za tvorby taveniny křemičitanu a zvýšeného podílu roztavených fází;
- tvorba sloučenin vápníku a síry a sloučenin s obsahem fluoru, společně s alkalickými chloridy a chloridy kovů;
- redukce oxidů železa na kovové železo ve vysoko-teplotní zóně;
- vytváření dutin a kanálků při spalování koksu a odpařování vlhkosti;
- reoxidace a rekrytalizační procesy se smršťováním, přeměnou a vytvrzováním během ochlazování aglomerátu;
- tvorba trhlin z důvodu tepelného pnutí během ochlazování aglomerátu a deformace v mikrostruktuře aglomerátu.

Před dosažením konce roštu je koksový mour zcela spálen a jeden nebo dva poslední větrovody se využívají pro počínající proces ochlazování. Chladič může být zabudován do aglomeračního pásu, nebo je oddělen, což je nejběžnější. Produkt spékání vypadává z konce roštu ve formě spečence, který se rozlamuje na nárazové plošině a pomocí drtiče.

V mnohých závodech pak aglomerát prochází procesem třídění za horka, čímž se oddělí jemné částice menší než cca 5 mm a recyklují se do vsázkové směsi (obr. 13)

4.3.4 Třídění horkého aglomerátu a chlazení

Není-li chlazení zabudováno do aglomeračního pásu, pak po přechodu pásu postupuje aglomerovaný materiál na chladič. Chladič má charakteristickou kruhovou konstrukci o průměru 20 až 30 m, ve kterém se umístí aglomerát ve vrstvě větší než 1 m. Aglomerát se chladí vzduchem vháněným vertikálně do vrstvy. Objemový průtok chladícího vzduchu aglomerátem je vysoký a závisí na druhu a stáří použitého systému. Specifický průtokový objem je 1500 - 2500 Nm³/t aglomerátu, což vede k průtokové rychlosti 100 000 až 1 000 000 Nm³/hod.

Někdy se značného tepla odpadního plynu z chlazeného aglomerátu využívá v kotlích na odpadní teplo, do zážehových čel aglomeračního roštu, nebo k přehřevu čerstvé vsázky.

Ochlazený aglomerát se přepravuje k sítům, které oddělují frakce, které se použijí ve vysoké peci (4 -10 mm a 20 - 50 mm) od frakcí, které se navrátí do aglomeračního procesu (0 -5 mm jako vratná jemná frakce a 10-20 mm jako spodní vrstva).

4.4 Peletizační závody

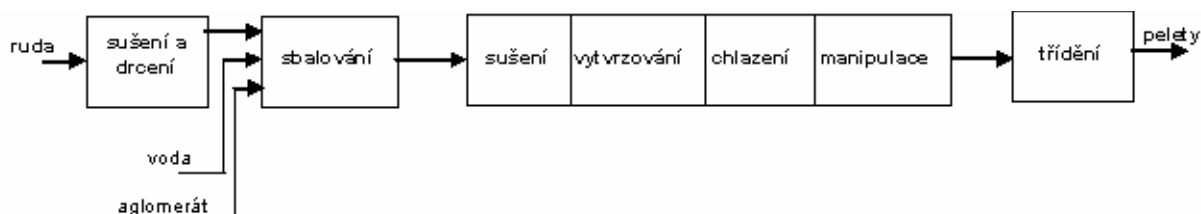
Peletizace patří mezi pochody k přípravě surovin s obsahem oxidů železa pro výrobu oceli.

Pelety se tvoří ze surovin – drobné rudy a aditiv o velikosti částic $< 0,05$ mm do 9 – 16 mm při využívání velmi vysokých teplot a to se provádí hlavně v místě dolů nebo jejich překladišť.

(Pozn. V 15 členských státech EU existuje pouze jeden integrovaný hutní podnik, jehož součástí je peletizační závod (v Holandsku). Švédsko má čtyři samostatně stojící peletizační závody. Výroba pelet v pěti závodech EU, uvedených výše byla v roce 1996 15,1 Mt. V roce 1995 byla v EU 15 celková spotřeba pelet okolo 35 Mt, zatímco spotřeba aglomerátu byla 3x vyšší.) [IPPC]

4.4.1 Technologie sbalovacího procesu

Pelety jsou malé krystalické sbalky železné rudy o velikosti 9 – 16 mm. Proces peletizace obsahuje drcení a sušení nebo odvodňování, sbalování a vytvrzování, po němž následuje třídění a manipulace (Obr.17)



Obr. 17 Schéma operací peletizačního závodu [IPPC]

4.4.2 Drcení a sušení/odvodňování

Ruda se před vložením do peletizačního zařízení třídí několikerým proséváním a v etapách obohacení pomocí rozmělnění a drcení. Převládajícími prostředky zakoncentrování rudy je magnetická separace, která vychází z vlastností rudy. Ve švédských závodech se rozmělnění a koncentrace provádí mokřými pochody. V závodech v Dánsku se rozmělnění provádí při relativně vysoké teplotě (asi 100 °C). Při mokřem pochodu se přísady (olivín, dolomit a/nebo vápenec v závislosti na konečném produktu) rozdrtí a potom se přidávají do rudné kaše běžně v množství 3 – 3,5 % ještě před odvodněním. Při dalším pochodu po drcení za tepla se materiál opětně smáčí v lopatkových míchačkách a spojuje se s přísadami. V obou případech se upraví obsah vlhkosti na 8 – 9 %.

4.4.3 Příprava čerstvých sbalků

Odvodněná nebo opětně smáčená vsázka pelet se smíchá s přísadami a potom se zpracuje v závodě na přípravu čerstvých sbalků. Ten je běžně vybaven 4 až 6 balnými okruhy, které obsahují zásobník vsázky, sbalný buben, bubnová síta a dopravníky kolujících materiálů. Sbalný buben je nakloněn o 6 – 8 ° v horizontálním směru. Aby se získala správně definovaná velikost čerstvých sbalků, běžně v rozmezí 9 – 16 mm, vytřídí se větší nebo menší frakce a nechají se recirkulovat.

4.4.4 Vytvrzování

Vytvrzování, což znamená tepelnou úpravu, se skládá ze sušení, zahřívání a chlazení. Lze ji provádět ve dvou různých jednotkách; na rovném roštu nebo v systémech roštových pecí. Během tepelné úpravy se magnetit většinou zcela zoxiduje na hematit. To přispívá k většímu množství tepla, které je potřebné k průběhu pochodu.

4.4.5 Třídění a manipulace

Na konci vytvrzovacího pásu se pelety shromažďují a třídí. Podměrečné velikosti a úlomky pelet se mohou recyklovat. Může docházet ke značným emisím hmotných částic. U samostatně stojících závodů ve Švédsku se vytvrzené pelety před nakládáním na otevřené železniční vagóny pro přepravu do přístavišť v norském Narviku a švédském Lulea uchovávají v zakrytých zásobnících. Při nakládání na loď se vytřídí 2 – 3 % materiálu jako podsítné a prodá se jako aglomerační vsázka. Pokud jde o všechny materiály do vysoké pece (koks, aglomerát, pelety a kusovou rudu), provádí se konečné třídění v místě vysoké pece.

4.5 Systém ASŘ TP teplého úseku přípravy vysokopecní vsázky

Z důvodu větší rozšířenosti aglomeračních závodů bude pozornost věnována především těmto provozům, avšak principiální řešení lze aplikovat i na peletizační závody.

Řídicí systém teplého úseku:

- **přísun aglomerační směsi o požadovaném složení** (řízení množství rudné směsi, množství koksu a vápence, množství přidávaného vratného aglomerátu)
- **vlhčení podle hmotnosti, vlhkosti a teploty směsi** (vlhkost směsi lze měřit neutronovou sondou, jejíž údaj je s ohledem na část mezikrystalické vody korigována podle sběrné hmotnosti směsi)
- **udržování mezizásobníků na požadované úrovni** (v mezizásobnících je celkový součtový signál všech vah žádanou hodnotou pro přísun rudy do směšovacích zásobníků, množství rudné směsi je žádanou hodnotou pro množství koksu, vápence a vratného aglomerátu – poměrová regulace; nastavování poměrů je ovlivněno korekcí ze vzorkovny)
- **spékání a chlazení aglomerátu** – z mezizásobníků je směs dávkována do 2. stupně míchání , přes násypku dopravována na spékací pás a zapálena, drcena a chlazená - na tomto subsystému lze z hlediska řízení rozlišovat další subsystémy
 - 1) *plnění násypky nad spékacím pásem* - řídicí dávkování aglomerační směsi do rotačního bubnu podle hladiny směsi v násypce
 - 2) *podávání směsi na pás* - řídí se bubnový podavač násypky podle měřeného množství materiálu před hradítkem, k měření slouží kapacitní sondy
 - 3) *řízení spékání* - řízení plošného zapalovacího hořáku poměrovou regulací případně přídavného hoření. Pás je v podobě palet, vrstva je prosávána pomocí exhaustoru, rychlost je řízena tak, aby teplota byla maximální v předposlední komoře
 - 4) *řízení chlazení* - u těchto operací se měří teplota na výstupu a podle ní se řídí úroveň chlazení vzduchem, celý proces je plně automatizován a řízen výpočetní technikou.

Techniky řízení: ovládaní, poměrová regulace, programová regulace, blokování, signalizace.

5. VYSOKÉ PECE

Produkty vysoké pece jsou: surové železo, struska, vysokopecní plyn.

Surové železo je sloučenina železa a uhlíku. V surovém železe jsou vedle uhlíku ještě dodatečné zbytky doprovodných prvků, jako jsou mangan (Mn), křemík (Si), síra (S) a fosfor (P). Surové železo není kujné, je pouze dobře slévateľné a nehodí se pro výroby pro svou křehkost.

5.1 Druhy surového železa

Rozdělení jednotlivých druhů surového železa se uskutečňuje podle obsahu C, S, P, Mn a Si. Základní rozdělení je na *ferromangan* a *ferrosilicium*.

Ferromangan

Ocelářské surové železo pro výrobu ocelí (dřívější označení bílé surové železo). Má bílou, jemně zrnitou, třpytivou plochu lomu, když se do vysoké pece přidávají slitiny s velkým procentem manganu. Uhlík se působením manganu chemicky váže jako karbid železa a stejnoměrně se rozdělí (žádný grafit).

Ocelářské surové železo se nalévá v tekutém stavu do pojízdných pánví a přivádí se přes mísič surové oceli do ocelárny.

Příklad složení

C	3,5 – 4,5 hmot. %
S	max. 0,04 hmot. %
P	0,1 – 0,25 hmot. %
Mn	0,4 – 1,0 hmot. %
Si	max 1,0 hmot. %
Zbytek	Fe

Ferrosilicium

Slévářské surové železo pro výrobu litiny (dřívější ozn. šedá litina). Má šedou, hrubě zrnitou plochu lomu a vzniká, když se ve vysoké peci přidávají přísady s vysokým obsahem křemíku. Uhlík se vylučuje působením křemíku jako grafit mezi krystaly feritu.

Slévářské surové železo se odlévá na licích strojích do kovových forem(kokil) -vznikají housky. Housky jsou železné prvky s lichoběžníkovým průřezem o hmotnosti od 15 kg.

Příklad složení

C	3,5 – 4,5 hmot. %
S	max. 0,06 hmot. %
P	0,3 – 2,00 hmot. %
Mn	max. 1,0 hmot. %
Si	1,5 – 3,0 hmot. %
Zbytek	Fe

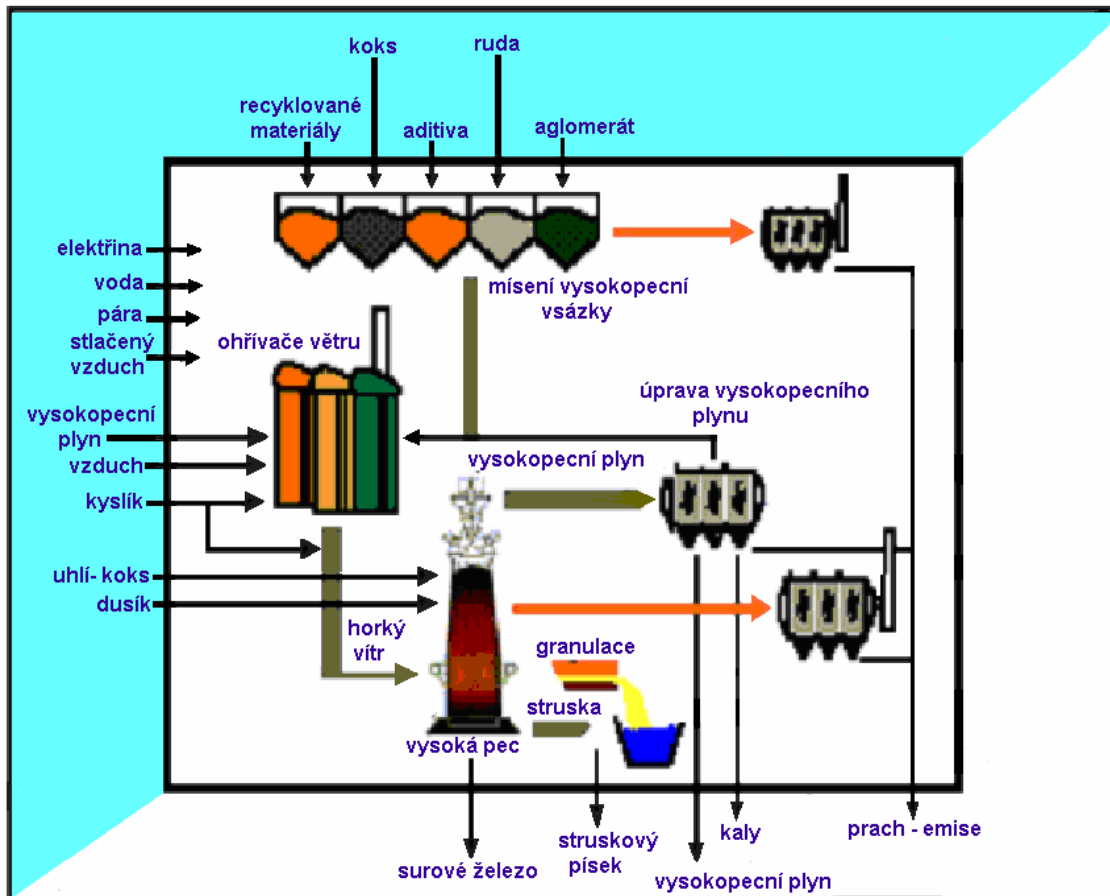
5.2 Vysokopecní proces

Vysokopecní pochod patří do skupiny nepřetržitých hutnických pochodů a tímto pojmem je označován souhrn velkého počtu různých dějů, které probíhají ve vsázkových surovinách během jejich zpracování ve vysoké peci.

Vysokopecní pochod jako celek lze charakterizovat těmito zvláštnostmi:

- Vysoká pec je protiproudý reaktor, který s výjimkou nejnútnejších oprav pracuje nepřetržitě a dlouhodobě (obvykle 10 až 15 let). Plnění pece , dmýchání větru a odvod plynu jsou plynulé, vypouštění surového železa a strusky se u velkoobjemových vysokých pecí pracujících s bohatou vsázkou k plynulosti blíží.

- Redukce železa ze vsázky je téměř dokonalá , nepatrné ztráty železa (asi 0,5 %) jsou způsobovány struskou.
- Ve srovnání s jinými způsoby železa má nejnižší měrnou spotřebu energie.
- Závažným nedostatkem vysokopecního pochodu jsou vysoké nároky na jakost koksu a na přípravu kovonosné vsázky.



Obr. 19 Vstupní suroviny a výstupní produkty vysokopecního pochodu [IPPC]

Technologická soustava není jak je z výše uvedeného obrázku patrné tvořena pouze výrobním agregátem vysoké pece produkujícím surové železo. Soustava je tvořena následujícím i subsystémy

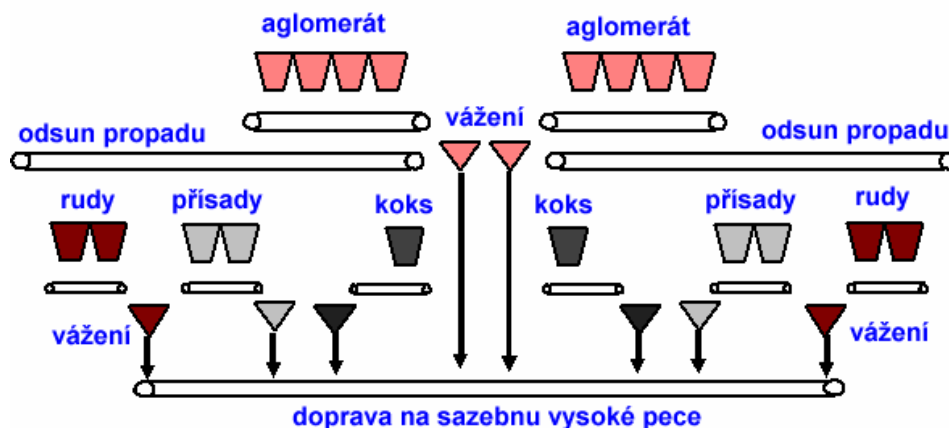
- Rudný most včetně dávkovacích vah
- Zařízení pro dopravu vsázky na sazebnu vysoké pece (skip nebo dopravníkový pás)
- Zařízení sazebny
- Agregát vysoké pece
- Ohřivače větru

Hlavní pochody jsou následující :

- zavážení surovin
- tvorba proudu horkého větru
- vysokopecní proces
- přímá injektáž redukčních činidel
- odlévání
- zpracování strusky

5.2.1 Rudný most

V zásobnících rudného mostu jsou skladovány jednotlivé podíly vysokopecní vsázky (aglomerát, koks, železné rudy, vápenec). V předvoleném pořadí a v předvolených dávkách jsou jednotlivé druhy vsázky dopravovány na sazebnu vysoké pece.



Obr. 20 Schéma rudného mostu [TOMIS]

Vysokopecní vsázka se skládá z paliva, železo rudných surovin a struskotvorných přísad v takovém vzájemném poměru, který zaručuje získání určitého množství surového železa o žádaných chemických a fyzikálních vlastnostech.

Účelem paliva je dodávat do vysoké pece potřebná množství tepla a redukční látky, nauličovat železo až do jeho nasycení a vytvářet zejména ve spodní části pece pevnou kostru, která usnadňuje proudění plynu vsázkou při teplotách, při nichž rudné suroviny měknou a taví se. Tyto podmínky nejlépe plní černouhelný koks, ostatní paliva (zemní plyn, oleje, prášková paliva at.) jsou pouze doplňková.

Železorudná vsázka přináší do vysoké pece potřebné množství železa v podobě jeho oxidů nebo jiných sloučenin, které tyto oxidy obsahují. Hlavní složkou železorudné vsázky jsou aglomerát, pelety a tříděné kusové rudy. Současně se zpracovává železný vratný materiál.

Účelem struskotvorných přísad je odvádět z vysoké pece nezredukovatelné oxidy a síru v podobě strusky o žádaných chemických a fyzikálních vlastnostech. Jedná se především o zásadité přísady jako jsou dolomit a vápenec. Většina potřebných přísad se přidává do aglomerační vsázky, takže do vysoké pece se přidávají v množstvích, která pouze vyrovnávají odchylky zásaditosti od žádané hodnoty.

5.2.2 Zavážení

Vsázka a doprovodný koks se zavážejí vrchem pece buď skipy, nebo mechanickými dopravními pásy.

Vsázka se vkládá do pece utěsněným zavážecím systémem, který izoluje pecní plyny od okolní atmosféry. Tento systém je nezbytný, protože vysokopecní tlak je vyšší než atmosférický (0,25 až 2,5 barů).

Zatěsněný zavážecí systém může být zvonovým vsazováním, nebo bezzvonovou sazebnou.

Zvonová sazebna – se skládá z malého a velkého zvonu, které jsou doplněny otočnou násypkou a soustavou přepouštěcích ventilů.

Bezzvonová sazebna obsahuje přesunovací násypku, dva surovinové zásobníky, otočný skluz. Surovinové zásobníky jsou nahoře i dole opatřeny uzávěry, které regulují tok materiálu na otočný skluz.

Cílem sazebný - rovnoměrné rozprostření vsázkových surovin po celé ploše vysoké pece.

5.2.3 Vysoká pec

První skutečná vysoká pec, která používala koks zahájila svůj provoz v roce 1735. Vysoká pec zůstává zdaleka nejdůležitějším procesem výroby surového železa. A tato technika bude pravděpodobně v popředí nejméně příštích 20 let. [IPPC]



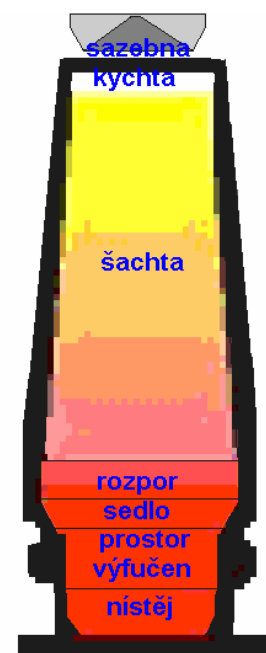
Obr. 21 Celkový pohled na vysokou pec

Všeobecný popis

Suroviny vstupují do vysoké pece shora, zatímco produkty (tavenina železa a struska) se odpichují u dna pece (nístěj). Pevná vsázka se pohybuje shora dolů a přitom se setkává se vznikajícím proudem horkého redukčního plynu. Na vrcholu pece, v kychtě, se vysokopecní plyn o zbytkové výhřevnosti shromažďuje a odvádí se k další úpravě.

Vysokou pec lze rozdělit na 6 teplotních zón :

- Kychta: V kychtě vysoké pece dochází k zavážení vsázky a odvádění vysokopecního plynu
- Šachta: V šachtě předává horký vysokopecní plyn své teplo pevné vsázce. Teplota vsázky vzrůstá proti teplotě okolí na cca 950 °C a oxidy železa se v této zóně částečně redukují.
- Rozpor vysoké pece: Rozpor připojuje šachtu k sedlu vysoké pece. V této části roste teplota dále z 950 °C asi na 1250 °C. Nastává další redukce oxidů železa a začíná reakce s koksem.
- Sedlo: Reakce koksu pokračují v zóně sedla. Tvoří se tavenina železa a strusky.
- Výfučny: V této zóně se do pece zavádí proud horkého vzduchu pomocí řady výfučen (mezi 16 - 42). Výfučny jsou umístěny okolo horního obvodu nístěje a jsou propojeny velkou rourou (okružní



větrovod) obtočenou okolo pece ve výšce sedla. Teplota tady může přestoupit 2000° C a oxidy se zcela zredukují.

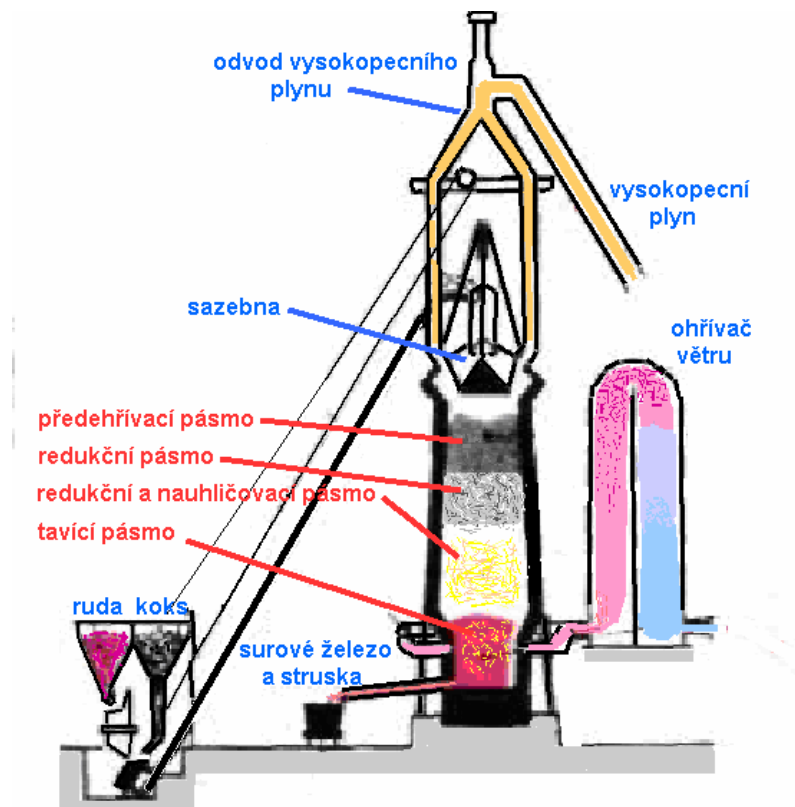
- Nístěj: Nístěj shromažďuje tekuté surové železo a strusku. Okolo nístěje jsou umístěny jeden až čtyři odpichové otvory, při čemž je jeden nebo dva v kteroukoliv dobu v provozu.

Šachta, rozpor, sedlo a pás výfučen mají typické chlazení vodou, nístěj se chladí vodou, olejem nebo vzduchem. Pec je vyzděna žáruvzdorným materiálem (nístěj mívá tloušťku přinejmenším až 1,5 m)

Produkce surového železa se u vysokých pecí pohybuje asi od 0,5 Mt/rok u malých až do téměř 4 Mt/rok u velkých vysokých pecí.

Vysoká pec je uzavřený systém, do kterého se zavážejí materiály obsahující Fe (kusová železná ruda, aglomerát a/nebo pelety), aditiva (struskotvorné přísady jako je vápenec) a redukční činidla (koks) a to plynule vrcholem pecní šachty pomocí zavážecího systému, který zabraňuje úniku vysokopecního plynu.

Obrázek 22 ukazuje zjednodušené schéma vysoké pece, které obsahuje vlastní vysokou pec, licií halu, ohříváče větru a dvoustupňovou úpravu vysokopecního plynu.



Obr. 22 Zjednodušené schéma vysoké pece

Horký dmýchaný proud vzduchu obohacený kyslíkem a pomocná redukční činidla (práškové uhlí, olej, zemní plyn a v několika případech i plasty) se injektují v úrovni výfučny a poskytují protiproud redukčních plynů.

Dmýchaný vzduch reaguje s redukčními činidly především za vzniku CO, který naopak redukuje oxidy Fe na kovové železo. Tekuté železo se shromažďuje v nístěji současně se struskou a obojí se pravidelně odlévá. Tekuté železo se přepravuje v torpédových pánvích do ocelárny a struska se zpracovává na přísady, do granulí nebo pelet pro stavbu silnic a výrobu cementu. Vysokopecní plyn se shromažďuje ve vrcholu pece, upravuje se a rozesílá do provozů, kde se ho používá jako paliva pro vytápění nebo k výrobě elektřiny.

K dispozici jsou rozličná redukční činidla: uhlík (uhlovodíky) v podobě koksu, uhlí, oleje, zemního plynu nebo v současné době v některých případech také plasty.

Železná ruda dnes zpracovávaná obsahuje velké množství hematitu (Fe_2O_3) a někdy malé množství magnetitu (Fe_3O_4). Ve vysoké peci se tyto složky postupně redukují a přecházejí přes nižší oxidy (FeO) až k částečně redukované nahličené podobě pevného železa. Nakonec se vsázka železa taví, reakce spějí do závěrečného stupně a horká tavenina kovu a struska se shromažďují u dna. Redukující uhlík přechází na CO a CO_2 .

Tavidla a přísady se přidávají proto, aby se snížil bod tavení hlušiny, zlepšil přechod síry do strusky, zajistila se požadovaná jakost tekutého surového železa a umožnilo se další zpracování strusky.

Jak se vsázka vysoké pece pohybuje směrem dolů (klesá), stoupá její teplota, tudíž se usnadňují redukční reakce oxidů a tvorba strusky. Nastává řada změn ve složení vsázky:

- oxid železitý ve vsázce se postupně redukuje za vzniku železné houby až ke konečnému roztavenému surovému železu
- kyslík ze železné rudy reaguje s koksem za vzniku CO , nebo s CO za vzniku CO_2 , který se hromadí ve vrcholu pece
- složky hlušiny se spojují s tavidly a tvoří strusku. Tato struska je souborem směsi silikátů o nižší hustotě než je roztavené železo
- koks slouží především jako redukční činidlo, ale také jako palivo a opouští pec v podobě CO , CO_2 , nebo uhlíku obsaženém v surovém železe
- jakýkoliv přítomný vodík reaguje také jako redukční činidlo a reakcí s kyslíkem dává vodu.

Redukce oxidů železa

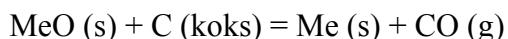
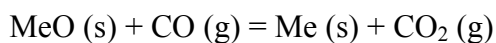
Redukce železa z jeho oxidů probíhá postupně od vyšších oxidů k nižším podle dvou schémat:

při teplotách nad 570°C : $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}_{1-\gamma}\text{O} \rightarrow \text{Fe}$

při teplotách pod 570°C : $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}$

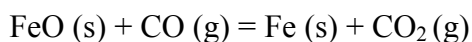
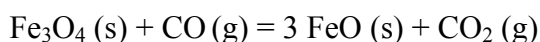
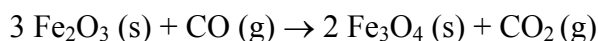
Redukce oxidů kovů oxidem uhelnatým se nazývá redukcí nepřímou, redukce uhlíkem je označována jako redukce přímá. Redukce vodíkem bývá často zahrnována do redukce nepřímé.

Přímá reakce uhlíku koksu s tuhými oxidy kovů je velmi omezena nedokonalým stykem obou tuhých fází, a proto i přímou redukcí tuhých oxidů při teplotách nad 900 až 950°C je třeba chápat jako výsledek nepřímé redukce a Boudouardovy reakce. Označí-li se kov obecně Me , bude zápis reakcí následující:

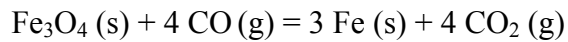
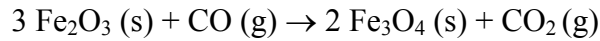


Teprve při vyšších teplotách, kdy tuhé oxidy přecházejí do strusky a zvětšuje se styčná plocha fází, uvažuje se přímá reakce mezi uhlíkem koksu a oxidem kovu.

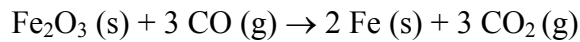
Redukce oxidů železa oxidem uhelnatým probíhají při teplotách nad 570°C takto:



Při teplotách pod 570°C probíhají jen dvě reakce



Souhrnná reakce redukce Fe_2O_3 oxidem uhelnatým

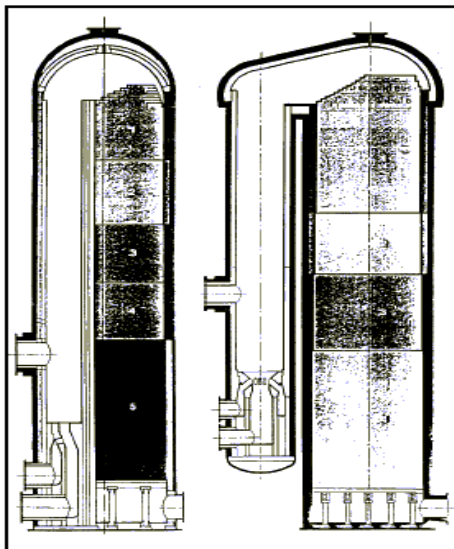


5.2.4 Ohřivače větru

Horký vítr pro vysokopeční operace poskytují ohřivače větru (někdy nazývané „vysokopeční kaupery“). Ohřivače jsou pomocným zařízením, které je schopno ohřát dmýchaný proud vzduchu. Rostoucí teplota dmýchaného větru vede ke snížení potřeby uhlíku. Horký vzduch je zapotřebí k přenosu tepla do pevné vsázky, aby se zvýšila reakční teplota. Horký vítr také pomáhá při zajištění potřeby kyslíku pro zplynění koksu a při transportu plynu, který při styku se vsázkou redukuje oxidy železa.

Ohřivače se provozují cyklicky. Vyhřejí se hořícími plyny (běžně obohaceným vysokopečním plynem) až je v klenbové báni správná teplota (asi 1100 – 1500 °C): spalování plynu se potom přeruší a přes větrovody se v opačném směru protlačí studený okolní vzduch. Studený vzduch se ohřeje o horké cihly a tak se vytvoří proud horkého vzduchu (900-1350 °C), který se zavádí do vysoké pece. Proces pokračuje, až ohřivače nemohou dále dosáhnout charakteristické teploty dmýchaného proudu plynu a původní ohřivací cyklus začíná znova. Trvání každého cyklu závisí na individuálních místních podmínkách, jakými může být např. zdroj energie, charakteristika systému a zavedená opatření.

Principiálně lze ohřivače větru jako takové klasifikovat buď jako interní, nebo externí podle toho, zda mají spalovací komorou zabudovanou uvnitř nebo ne (Obr.23). Pro jednu vysokou pec jsou potřeba 3-4 ohřivače větru.



Obr. 23 Příčný řez ohřivači větru s vnitřní a vnější ohřivací komorou [IPPC] a pohled na ohřivače větru

5.2.5 Přímá injektáž redukčních činidel

Většina vysokopečních zařízení injektuje redukční činidla do pece v úrovni výfučny. To částečně nahrazuje koks ve vsázce. Tento postup umožňuje provozovateli optimalizovat využití redukčních činidel. Dalšími výhodami jsou rostoucí výkony a snížení požadavků na koksovny, a tím následně i pokles měrných emisí z koksoven na tunu vyrobené oceli. Mnohé

závody injektují práškové uhlí, olej nebo zemní plyn. Dvě společnosti začaly injektovat odpady plastů, využívajíce pro redukční procesy jejich vysokého obsahu uhlovodíků. [IPPC]

5.2.6 Odlévání

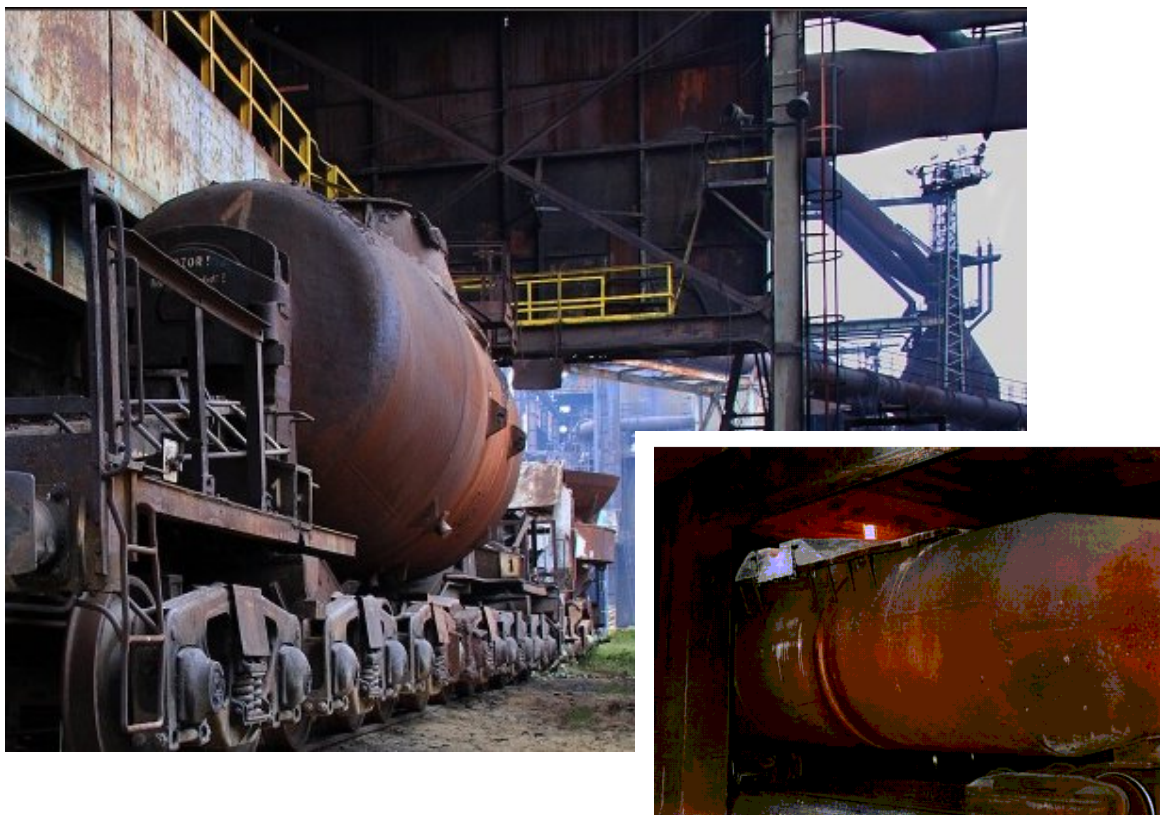
Vysoká pec se periodicky odpichuje, aby se z ní vypustila tavenina surového železa a struska. Za tímto účelem se otevře jeden z odpichových otvorů v postranní stěně níže pomocí průrazného vrtáku, nebo odpichové tyče. V některých případech se pro otevření odpichového otvoru používá kyslíkové trysky.

Vysoká pec má obvykle 1-4 odpichové otvory. Počet odpichových otvorů je dán kapacitou /velikostí vysoké pece.

V moderních vysokých pecích se tavenina železa i struska odpichují současně (charakteristické je, že struska začíná odcházet až po vypuštění horké taveniny). Struska a surové železo se následně oddělují v odlučovači strusky v lici hale, z něhož každý proud pokračuje svou vlastní cestou.

Tavenina surového železa odpíchnutá z vysoké pece proudí podél vyzdívky nebo nízko cementem vyloženými žlaby, obezděnými tepelně odolnou směsí karbidu hliníku nebo křemíku a odlévá se do pánví (přímo, nebo prostřednictvím sklopných žlabů).

Tyto pánve mohou být otevřené, nebo uzavřené typu, nebo se jedná o torpédové vozy (Obr. 24). V tomto roztaveném stavu má kov teplotu přibližně 1440 – 1500 °C. Struska odpíchnutá z pece proudí ve žlabech do závodu granulace, nebo do struskových pánví, či do otevřené jámy. Na konci cyklu odlévání se odpichový otvor uzavře mechanicky injektováním jílovité směsi odolné ke specifickému teplu odpichového otvoru za použití tzv. „ucpávačky“.



Obr. 24 Torpédová pánev.

5.2.7 Zpracování strusky

Množství vyrobené strusky je určeno použitou železnou rudou a množstvím tavidel, které se vyžadují, aby se dosáhlo potřebné jakosti surového železa. Strusku lze použít k mnohým účelům včetně materiálu pro stavbu silnic, přísad do cementu, jako tepelnou izolaci (minerální vlna) a náhradu cementu. V nynější době je cílem využít veškerou vysokopecní strusku, čehož bylo v mnohých případech již dosaženo.

V současnosti existují tři procesy, které se při úpravě vysokopecní strusky používají:

- granulace strusky
- zakládání strusky do jam
- peletizace strusky :

Všechny procesy chlazení strusky mohou být doprovázeny vznikem sirovodíku, který zapáchá.

5.3 Úkoly řídicího systému

1. Stabilizace výrobního procesu - tzn. zjistit vhodný poměr mezi uhlíkem paliva a kyslíkem rudy
2. Ovlivnění tvorby a pohybu proti proudu plynu
3. Zajistit využití energie horkého větru

Poruchové faktory

1. VNĚJŠÍ - jsou dány vlastnostmi hmot
2. VNITŘNÍ - jsou reprezentovány nahodilým porušováním rovnováhy procesu samotnou mechanikou řídicího procesu

Základní úlohou řídicího procesu je optimalizace - spočívá v aplikaci řídicího systému a schopnosti dosáhnout optima výrobních nákladů s využitím vysokopecních modelů

Systém řízení je rozdělen na 6 základních subsystémů

1. **Příprava a stabilizace vsázky** - subsystém kontroluje a řídí jednotlivé technologické zařízení rudného mostu a zda jsou vsázkové materiály dávkované v dané kvalitě a množství.
2. **Podsystém zavážení** - subsystém kontroluje a řídí vyprazdňování vážných nádob, chod skipového výtahu a funkce uzávěrů, které jsou řízeny programem a obsluha je pouze kontroluje
3. **Řízení pece zavážkou** - subsystém vyhodnocuje obvodové teploty na sazebně a teploty horizontálních zásobních sond, dále vyhodnocuje teploty v plynovodech a rychlost poklesu vsázky
4. **Podsystém tepelně technického stavu** - jsou řízeny metalurgické procesy v nístěji pece, řídí se hladina a gradient teplotního pole, při poklesu teplotní hladiny se přidá kyslík, při nárůstu se přidá pára, teplota v prostoru výfúčen se měří nepřímo, podle oteplení chladicí vody
5. **Subsystém řízení intenzity práce pece** - úkolem je určit a zabezpečit dynamickou rovnováhu protiproudu správným množstvím dmýchaného větru a zabezpečit dynamickou rovnováhu dmýchaného větru. K tomuto účelu má sloužit dynamický model, který je neustále zdokonalován
6. **Řízení ohřívачů větru včetně jejich optimalizace**

5.4 Řízení tepelně teplotního stavu vysoké pece

Vysokopeční vsázka se skládá z paliva, železnorudných surovin a struskotvorných přísad v takovém poměru, který zaručuje získání určitého množství surového železa o žádaných chemických a fyzikálních vlastnostech. Základním palivem je metalurgický koks a foukacími formami je injektován olej.

Ve zjednodušené formě lze říci, že jedna z komor je označována jako koksová a druhá jako rudná. Koksová komora je plněna metalurgickým koksem, rudná pak obsahuje :

- pelety
- aglomerát
- vápenec
- kusové rudy

Výfukami rovnoměrně rozloženými po obvodu horní části nístěje se vhání do vysoké pece velké množství větru stlačeného na 0,2 až 0,5 MPa a ohřátého na 1000 až 1300 stupňů. Kyslíkem větru se spaluje jednak koks, který jako součást vsázky prošel celou vysokou pecí a v protiproudu žhavého plynu se ohřál na 1500 až 1600, jednak plynná, kapalná nebo prášková přídavná paliva, přiváděná do nístěje spolu s dmýchaným větrem. Hořením tohoto paliva se uvolňuje teplo potřebné k průběhu celého vysokopečního pochodu a současně vzniká redukční plyn o teplotě 1800 až 2100 nezbytný k redukci oxidů železa a některých doprovodných prvků. Aktivními složkami redukčního plynu jsou jen oxid uhelnatý a vodík, zatímco dusík tvoří plynný balast.

Subsystem řízení intenzity práce pece - úkolem je určit a zabezpečit dynamickou rovnováhu protiproudu správným množstvím dmýchaného větru. K tomuto účelu má složit dynamický model, který je neustále zdokonalován.

Rovnoměrný chod vysoké pece je podmíněn plynulým sestupem surovin a kapalných produktů tavby a lze ho dosáhnout jen účelným řízením intenzity proudění plynu v jednotlivých částech vodorovného průřezu pece. Zastavení sestupu surovin se nazývá zavěšování. Za počátek zavěšování vsázky je nutno pokládat okamžik, kdy součet sil působících na jednotlivé kusy vsázky proti směru jejich pohybu dosahuje hodnoty jejich tíhy.

5.4.1 Teoretické možnosti ovlivňování protiproudu

Oddělené řízení rozdělení plynové prodyšnosti a únosnosti koksu je možné v moderních systémech zavážení velkoobjemových vysokých pecí, které zahrnují pružný podsystém dávkování a formování dávek vsázkových materiálů, pásové zavážení vsázkových surovin na sazebnu a bezzvonové plnicí zařízení. K uskutečnění režimů zavážení, zajišťujících oddělené řízení, nutno cílevědomě vytvořit zadané rozdělení granulometrického složení v délce každé dávky vsázky v průběhu jejího ukládání na pásový dopravník dopravy surovin na sazebnu vysoké pece. Zadané rozdělení granulometrického složení v délce dávky vsázky musí brát zřetel na zvláštnosti realizovaného programu zavážení i na mechanismus přerozdělení granulometrického složení dávky vsázky při plnění a vyprazdňování komory bezzvonového plnicího zařízení. Rozdělení plynové prodyšnosti po poloměru sloupce vsázky lze řídit bez změny zadaného rozdělení únosnosti koksu provozem rozdělovače vsázky dle zadaného programu zavážení, kdy se ukládá větší množství vsázky s drobnými podíly do oblastí, ve které nutno zmenšit plynovou prodyšnost a větší množství kusových podílů se ukládá do míst, kde je třeba plynovou prodyšnost zvětšit.

Příliš drobné rudy a ostatní vysokopecní suroviny nejen snižují prodyšnost vsázkového sloupce, ale jsou také příčinou vzniku širších kanálů, jimiž může plyn proudit velkou rychlostí a strhávat drobné podíly vsázky.

Velikost tlakové ztráty více ovlivňuje příčný průřez kanálků než objem volných prostorů. Třídění surovin podle velikosti zrn má velký význam pro zvětšení prodyšnosti vsázkového sloupce, avšak podmínkou je odstranění drobných podílů, které by jinak zaplňovaly volné prostory mezi většími kousky.

Prodyšnost zrnité vrstvy závisí jak na vzájemném poměru drobných a hrubých podílů, tak na jejich skutečném množství. Čím větší je rozdíl ve velikosti zrn, tím větší je pokles prodyšnosti vrstvy a dosahuje maxima při 60 až 70% hrubší frakce, kdy drobná zrnka nejdokonaleji vyplňují volné prostory mezi hrubšími kousky.

Ve vysoké peci hraje významnou úlohu i segregace surovin podle velikosti kousků a značně ovlivňuje rozložení plynných proudů. Z tohoto důvodu má velký význam oddělené zasypávání surovin podle zrnitosti. Třebaže při průchodu vsázky vysokou pecí dochází k určitému promíchávání surovin tím, že drobnější podíly předstihují hrubší, při odděleném zasypávání surovin se cesta plynného proudu různě zakřivuje a prodlužuje a lépe se tak využije jeho tepelné a redukční schopnosti. Praxe potvrzuje tyto závěry a v mnohých případech tak bylo dosaženo značného zvýšení výrobnosti vysoké pece a snížení její měrné spotřeby paliva.

Množství plynů, které může projít pecí, určuje její výrobnost. Avšak při značném zvětšení množství větru se zhoršuje kontakt mezi tuhou a plynnou fází ve vysoké peci, narušuje se plynulý pokles vsázkových surovin a pec se začíná provozovat jako plynový generátor.

Pro každou pec existuje hraniční množství větru. Proto obsluha musí ihned po zjištění zhoršení chodu pece, aby nedošlo k jeho dalšímu rozvinutí, provést odpovídající změny technologického pochodu. K přijetí kvalifikovaného řešení regulace ukazatelů vysokopecní tavby při změně podmínek maximálně možné intenzifikace, a tím i výrobnosti, nutno znát kvantitativní vliv regulačních ukazatelů na hodnotu diferenčního tlaku po výšce pece.

Ukazatele horkého větru mají určitý vliv na hodnotu diferenčního tlaku plynů ve vysoké peci. Na diferenční tlak má nejvyšší vliv množství větru a množství zemního plynu. Při zvýšení výkyvů diferenčního tlaku se snižuje míra využití chemické energie plynů.

Zatížení obvodové oblasti pece rudnými materiály vede ke zvýšení celkového diferenčního tlaku. Úroveň závážky surovin podstatně ovlivňuje hodnotu diferenčního tlaku.

Pochod nahromadění tekutých produktů tavby v nížeji pece ovlivňuje výrazně hodnotu celkového diferenčního tlaku. Maximální hodnoty dosahuje před otevřením výpusti surového železa a nejmenší v době ucpání výpusti surového železa. K nadměrnému růstu diferenčního tlaku dochází při zpoždění odpichu surového železa, což nutí technologický personál snižovat množství dmýchaného větru, aby nedošlo k visení vsázky.

Diferenční tlak plynů po výšce pece je nejvýznamnějším impulsem v ASŘ chodu vysoké pece. Jeho udržování na stanovené úrovni a regulace dílčích diferenčních tlaků po výšce pece v automatickém režimu změnami řádu větru a tlaku plynu na sazebně poskytuje možnost vést pochod intenzivně při stabilním a rovnoměrném chodu pece.

5.4.2 Přestup tepla ve vysoké peci

Se zřetelem na teplotní poměry lze vysokou pec rozdělit po její výšce na tři části

- horní pásmo výměny tepla
- střední pásmo tepelně
- spodní pásmo výměny tepla

Přestup tepla ve vysoké peci se vyznačuje těmito zvláštnostmi:

- Teplota na povrchu jednotlivých kusů vsázky je ovlivňována jak vnějším přestupem tepla (z plynu k povrchu kusů), tak i vnitřním (od povrchu kusů dovnitř).
- Vnější přestup tepla se uskutečňuje sáláním, vedením i konvekcí, přičemž podíl těchto způsobů na celkovém přestupu tepla se mění s teplotou
- Vysokopecní vsázka je granulometricky a kvalitativně nehomogenní, což znemožňuje získat přesné zákonitosti.
- Mění se tvar, velikost i vnitřní struktura kusů, a tím se mění i podmínky pro proudění plynu.
- Mění se také vlastnosti plynné fáze a vznik kapalných fází vytváří velmi složitou protiproudňi soustavu.
- Na přestupu tepla se podílejí také stěny vysoké pece s chladícími armaturami. Aby se vyloučily nejobtížnější zjistitelné vlivy a podstatně se zjednodušily výpočty, budou další úvahy vedeny za těchto předpokladů:
 1. Vsázka je tvořena granulometricky ideální vrstvou složenou z pravidelných koulí o stejné velikosti. V takovém případě lze zanedbat přestup tepla vedením mezi jednotlivými kusy.
 2. Jednotlivé kusy vsázky mají nekonečně velkou tepelnou vodivost. To umožňuje předpokládat, že teplota uvnitř kusů je stejná jako teplota na jejich povrchu.
 3. Soustava je dokonale tepelně izolována, tj. vykazuje nulové tepelné ztráty d oblastí mimo vrstvu.

5.4.3 Systémy řízení ohřivačů větru

Na rozdíl od většiny ostatních výměníků nevyužívá citelného tepla spalin odcházejících z pece, nýbrž je výměníkem vytápěným. Palivem je vyčištěný vysokopecní plyn, mísený s koksárenským, resp. zemním plynem.

Studený vítr je pro potřeby vysoké pece ohříván v baterii ohřivačů větru. Všem těmto bateriím z hlediska budování ASŘTP je společný rekuperační ohřev větru, při kterém je v jednom nebo maximálně ve dvou ohřivačích studený vítr ohříván a zbývající jsou vytápěny. Cílem ASŘTP je sladit vzájemné požadavky na ohřev větru s možnostmi daného typu ohřivače tak, aby byla zajištěna max. teplota dmýchaného větru s využitím paliv, která jsou pro vysokopecní závod k dispozici.

Řízení ohřivačů je zajišťováno dvěma navzájem skloubenými částmi: zařízením pro automatickou reverzaci baterie ohřivačů a zařízením pro regulaci vytápění a ohřev větru.

Automatická reverzace zajišťuje podle předem určeného logického postupu ve vhodné okamžiky přerazování z polohy odstaveno na vytápění nebo ohřev větru a naopak v případě, že v průběhu reverzačních cyklů dojde k poruše, provádí se automaticky nezbytný bezpečnostní zásah. Základní zásadou řízení je splnění podmínky pro trvalý ohřev větru bez přerušeni, které by mohlo nastat při reverzaci.

Regulace vytápění a ohřevu větru navazují na zařízení programové reverzace. Regulační systém vytápění umožňuje podle požadavku provozu resp. podle následujícího podsystému optimalizace vytápění nastavení potřebného tepelného příkonu změnou množství topného plynu a jeho automatickou regulaci. Automatická regulace ohřevu větru může řídit teplotu horkého větru změnou množství přídavného větru nebo poměrnou změnou množství dmychaného větru při současném průchodu dvěma ohřivači, jejichž míra ochlazení je fázově posunuta.

Ohřev větru i vytápění mohou být řízeny třemi rozdílnými způsoby:

I - Běžným způsobem, při kterém se vítr ohřívá průchodem jedním ohřívacem, zbývající ohříváče jsou vytápěny.

II- Paralelním způsobem (2 + 2), při kterém se vítr ohřívá současně ve dvou ohřívacích zbývající dva jsou vytápěny. Teplota horkého větru je regulována na předvolené konstantní hodnotě proměnným množstvím přídavného větru.

III- Sdružené- paralelním způsobem (2/2), při kterém se vítr ohřívá současně ve dvou ohřívacích, jejichž míra ochlazení je vzájemně o polovinu cyklu posunuta. Množství větru, procházející oběma ohříváči, se reguluje regulačními klapkami v potrubí studeného větru tak, aby teplota výsledného větru po smísení odpovídala žádané teplotě horkého větru.

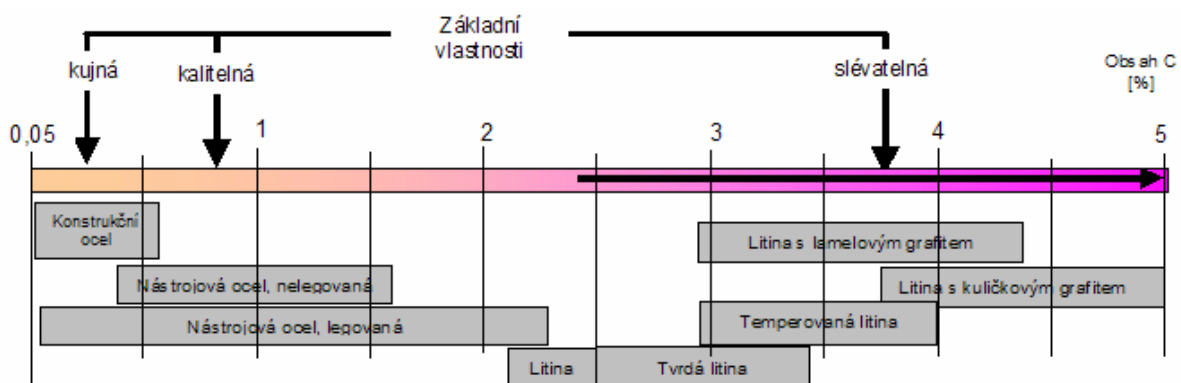
6. SUROVÉ ŽELEZO A OCEL

Surové železo je sloučenina železa a uhlíku. V surovém železe jsou vedle uhlíku ještě dodatečné zbytky **doprovodných prvků**, jako jsou mangan (Mn), křemík (Si), síra (S) a fosfor (P). Surové železo není kujné, je pouze dobře slévatelné a nehodí se pro výrobky pro svou křehkost.

Ocel je materiál s mnohostranným použitím. Podle čistoty, množství legovacích přísad a úpravy rozeznáváme a dělíme ocel např. na měkkou nebo tvrdou, pevnou v tahu, odolnou proti opotřebení, korozi nebo teplotě.

Ocel se dá kovat, válcovat, slévat a zpracovávat třískovým obráběním i beztřískovým obráběním.

Ocel	sloučenina Fe-C s méně než 2,14 % C
Litina	sloučenina Fe-C s více než 2,14 %C



Obr. 25 Typy ocelových slitin dle obsahu uhlíku.

Sloučeniny železa s uhlíkem o obsahu C do 2,14% označujeme jako ocel (stavební ocel, nástrojová ocel, ocelolitina), zde jsou Fe a C také v pevném stavu v sobě navzájem rozpuštěny, žháním dosahujeme **změněnou strukturu**. Tyto sloučeniny železa a uhlíku se dobře tváří válcováním, tažením, kování atd.

Sloučeniny železa a uhlíku s obsahem C od 2,14 % označujeme jako litina, mimo tvrdé litiny mají ve struktuře volný uhlík ve formě grafitových lupínek, které strukturu přerušují, a tím snižují pevnost sloučenin Fe-C. Grafitové lupínky nemohou být odstraněny **žiháním**. Tyto sloučeniny železa a uhlíku se dají velmi dobře odlévat

Srovnání chemického složení surové železa a nástrojové oceli

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	zbytek
ocel.sur.železo	3,6	0,4	1,0	2,0	0,07	Fe
11 600	0,5	0,55	1,0	0,05	0,05	Fe

Rozdělení ocelí

Podle chemického složení se oceli dělí na uhlíkové a slitinové (legované). Uhlíková ocel - slitina železa a uhlíku, jehož je méně než 2,14 %; má obvyklý obsah doprovodných prvků bez dalších úmyslných přísad a její vlastnosti jsou dány především obsahem uhlíku.

Slitinová (legovaná) ocel obsahuje ještě další, úmyslně přidané prvky, obvykle ve větším množství (tabulka).

Podle použití se oceli dělí na oceli **konstrukční** a **nástrojové**.

Konstrukční oceli jsou buď **obvyklých jakostí**, mají poněkud větší obsah fosforu a síry. Až na malé výjimky se tepelně nezpracovávají.

Ušlechtilé konstrukční oceli uhlíkové a slitinové se vyznačují větší čistotou, dokonalejším způsobem výroby. Dají se obvykle tepelně zpracovávat. Slitinové oceli s přidáním legovacích prvků do 2,5 % se nazývají nízkolegované, do 5 % středně legované, do 10 % výše legované a nad 10 % vysokolegované.

Nástrojové oceli jsou buď uhlíkové nebo slitinové.

Označení ocelí

Oceli se označují číselnými znaky podle norem. V různých státech se používají různé normy. V ČR používáme následující značení ocelí:



Význam jednotlivých čísel:

- první číslice -1 znamená, že jde o ocel tvářenou
- druhá číslice - ve spojení s první označuje třídu oceli (10,11,12,13,14,15,16,17,19)
- třetí číslice - udává informace podle třídy oceli
- čtvrtá číslice - udává informace podle třídy oceli
- pátá číslice - s výjimkou oceli pro výztuž betonu má význam pořadový

Doplňkové číslice:

- první číslice - stav oceli v závislosti na tepelném zpracování
- druhá číslice-stav přetváření

Rozdělení ocelí do tříd

Třída oceli 10 - oceli konstrukční nelegované, s předepsanými mechanickými vlastnostmi, zpravidla nezaručené chemické složení

Třída oceli 11 - oceli konstrukční nelegované, předepsané mechanické vlastnosti a předepsaný obsah C, P, S.

Třída oceli 12 - oceli ušlechtilé uhlíkové - předepsaný obsah C, Mn, Si, P, S aj.

Třída oceli 13 - oceli ušlechtilé slitinové, nízkolegované prvky: Mn, Si, Mn + Si, Mn + V

Třída oceli 14 - oceli ušlechtilé slitinové, nízkolegované prvky: Cr, Cr + Al, Cr + Mn, Cr + Si, Cr + Mn + Si

Třída oceli 15 - oceli ušlechtilé slitinové, nízkolegované prvky: Mo, Cr + Mo, Cr + V, Cr + W, Mn + Mo, Cr + V + W, Cr + Si + Mo + V a další kombinace těchto prvků

Třída oceli 16 - oceli ušlechtilé slitinové nízkolegované a středně legované prvky: Ni, Cr + Ni, Ni + V, Cr + Ni + V, Cr + Ni + W, Cr + Ni + Mn, Ni + V + W, Cr + Ni + V + W

Třída oceli 17 - oceli ušlechtilé slitinové, středně a vysoce legované prvky: Cr, Ni, Cr + Mn, Cr + Si, Cr + Ni + Ti + Al, Cr + Ni + V + W + Mn a další kombinace uvedených prvků (jsou to oceli korozivzdorné, žáruvzdorné, žárupevné, speciální).

Třída oceli 19 - oceli nástrojové uhlíkové a slitinové

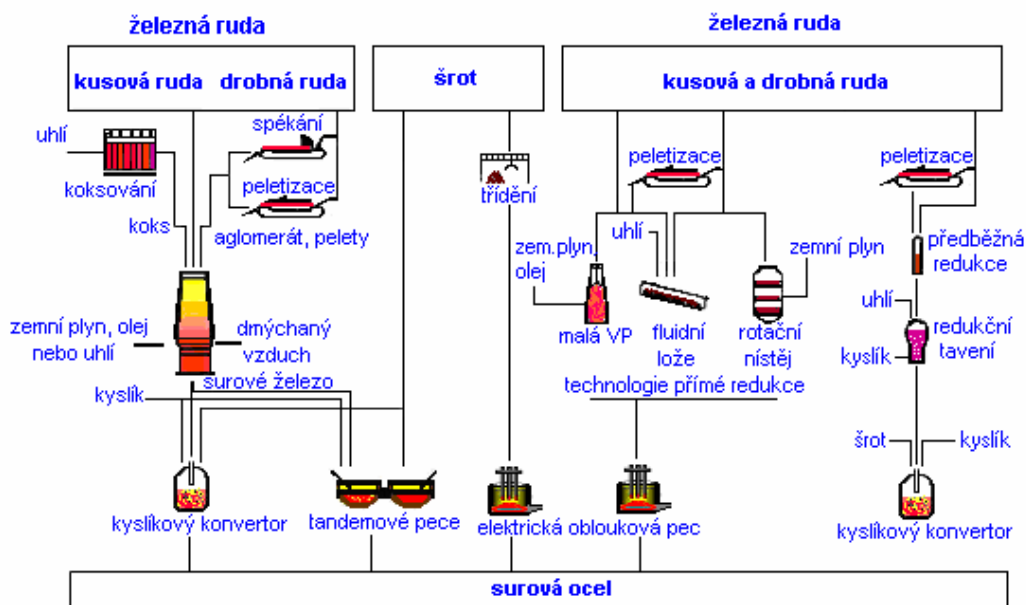
- uhlíkové-nelegované, předepsaný obsah C, Mn, Si, P, S
- slitinové - nízkolegované, středně a vysoce legované prvky Cr, V, W, Mo, Ni, Co, Si v různých kombinacích těchto prvků.
- rychlořezné, přelegované W.

7. VÝROBA OCELI

7.1 Způsoby výroby oceli

V současné době se používají čtyři pracovní postupy výroby oceli (viz Obr. 22):

- klasický způsob vysoká pec/ kyslíkový konvertor,
- přímo tavený šrot (elektrická oblouková pec),
- redukční tavení a
- přímá redukce.



Obr. 27: Způsoby výroby surové oceli.

V roce 1998 se výroba oceli v EU 15 zakládá na způsobu kombinace vysoká pec / kyslíkový konvertor (přibližně 65 %) a na procesu elektrických obloukových pecí (přibližně 35 %). Procentuelní množství světové výroby surové oceli tavením z rud a přímou redukcí bylo v roce 1996 okolo 4 %. V Evropě se přímá redukce železa omezuje na množství 500 000 t/rok (Německo a Švédsko), což představuje přibližně 1,5 % světové kapacity. Spotřeba přímo redukovaného železa v elektrických obloukových pecích se pro EU 15 v roce 1995 udává ve výši 400 tis. t/rok, ale zájem o tento materiál stoupá a právě jsou ve vývoji nové technologie výroby. [IPPC]

7.2 Výroba oceli kyslíkovými pochody

Výroba oceli kyslíkovými pochody je v soudobém hutnictví založena na technologickém schématu vyjádřeném pomocí Obr. 28. Z něj v podstatě vyplývají i nejdůležitější úkoly, které musí zajistit každý ocelářský výrobní způsob:

- Roztavit suroviny, popřípadě zvýšit jejich teplotu na teploty typické pro ocelářské pochody. Ty jsou dány zejména potřebou dosáhnout u vyrobené oceli dostatečného přehřátí nad teplotu likvidu, aby vyrobenou ocel bylo možno podrobit dalším nezbytným operacím v pánvi a odlít, ať již do kokil, či na zařízeních pro plynulé odlévání oceli.
- Oxidačními pochody snížit obsah uhlíku a dalších prvků ve vsázce, zejména nežádoucího fosforu, na požadované obsahy dané značkou vyráběné oceli. Rovněž je nezbytné snížit obsah síry v kovu, hlavně převedením části síry z kovu do strusky.
- Jelikož v průběhu oxidačních pochodů dochází k téměř úplnému zoxidování křemíku, k úbytku obsahu manganu a k přechodu kyslíku do roztaveného kovu, jsou obsahy těchto

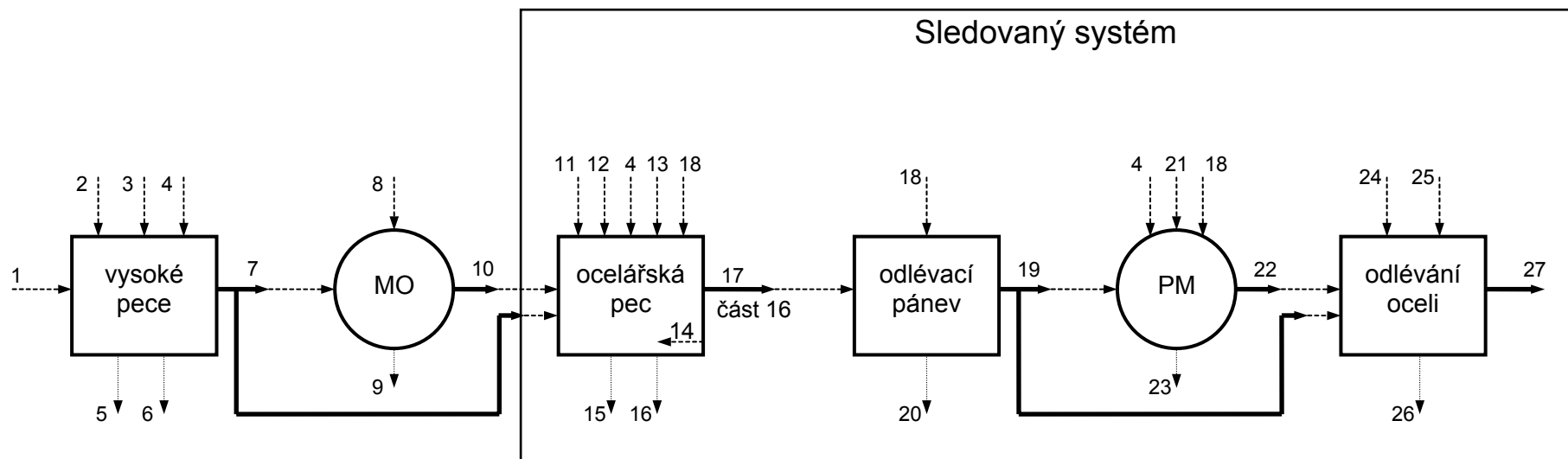
prvků v kovu po ukončení zkujňování mimo meze požadované výrobními předpisy. Aby se zajistily požadované vlastnosti oceli, je nezbytné roztavený kov dezoxidovat, nalegovat, popř. ještě snížit obsahy síry, dusíku, vodíku a nekovových vměstků na zařízeních pánvové metalurgie, pokud to vyžaduje speciální použití vyráběné oceli.

Jednotlivé ocelářské výrobní pochody se metalurgicky odlišují tím, jaký oxidační prostředek se používá pro zajištění potřebných oxidačních pochodů. Rozvoj kyslíkových pochodů výroby oceli, při nichž se jako oxidačního prostředku používá technicky čistého kyslíku, převážně o čistotě na 99 %, vytvořil podmínky pro to, aby byl celkový přínos tepla vyšší, než vyžaduje zvýšení teploty tekutého surového železa na odpichovou teplotu oceli, tvorba strusky a krytí tepelných ztrát. Proto je nezbytné použití chladicích prostředků, či ještě lépe účelné využití přebytků tepla ke zpracování části ocelového odpadu v kovonosné vsázce. Tím jsou vytvořeny podmínky pro zpracování odpadů kovu při výrobě oceli (viz Obr. 28), odpadu z válcoven (např. hlavových částí ingotů), zmetků apod., tedy tzv. vratného odpadu. K němu se řadí ještě zpracovatelský odpad (např. při třískovém obrábění kovů) a spotřebitelský odpad (např. amortizační odpad apod.).

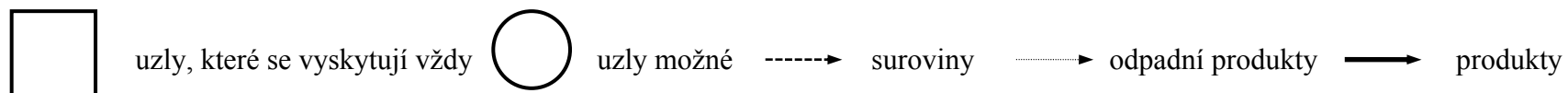
Na rozdíl od SM pecí, kde volba přínosu tepla palivem umožňuje zpracovávat ocelový odpad v širokém rozmezí jeho podílu v kovonosné vsázce, je u kyslíkových způsobů výroby oceli podíl ocelového odpadu ve vsázce limitován. Závisí hlavně na teplotě a složení surového železa, na požadovaném složení a teplotě vyráběné oceli, na využití tepla spalování CO a CO₂ a na výši tepelných ztrát.

Právě tandemové pece využívají do jisté míry fyzikálního a reakčního tepla spalování CO na CO₂ v předehřivací nístěji k prohřevu tuhé vsázky. Tímto opatřením se dosahuje zvýšení množství tuhé kovonosné vsázky a snížení podílu tekutého surového železa ve vsázce.

Obr. 28 Schematické znázornění dominantního hutnického řetězce výroby oceli.



Vysvětlivky:



Význam číselných symbolů je uveden v následující tabulce.

MO - mimopecní rafinace surového železa
 PM - pánvová metalurgie oceli

Význam číselných symbolů ze schématu hutnického řetězce výroby oceli

Suroviny		Odpadní produkty		Produkty	
č.	název	č.	název	č.	název a typické parametry
1	vzduch nebo vzduch obohacený kyslíkem	5	vysokopeční plyn	7	surové železo: 4 % C; 0,8 % Si; 0,7 % Mn; 0,03 % S; 0,2 % P; t = 1340 °C; t _{likvidu} = 1160 °C
2	ruda	6	vysokopeční struska		
3	redukční prostředky a palivo	9	struska po odsíření surového železa bohatá na síru	10	odsířené surové železo: 3,9 % C; 0,7 % Si; 0,65 % Mn; 0,005 % S; 0,19 % P; t = 1300 °C; t _{likvidu} = 1155 °C
4	struskotvorné přísady	15	odpadní plyny z ocelářské pece		
8	odsířovací prostředky	16	pecní ocelářská struska		
11	kyslík	20	struska	17	ocel na žlábkku: 0,1 % C; 0 % Si; 0,2 % Mn; 0,020 % S; 0,014 % P; 0,040 % O ₂ ; 0,003 % N ₂ ; t = 1600 °C; t _{likvidu} = 1524 °C
12	palivo	23	odpadní plyny při pánvové metalurgii	19	ocel : 0,35 % C; 0,35 % Si; 0,98 % Mn; 0,019% S; 0,014 % P; 0,0030 % O ₂ ; 0,0035 %N ₂ ; t = 1540 °C; t _{likvidu} = 1485 °C
13	chladicí prostředky (ruda, ocelový odpad apod.)	26	odpady oceli při odlévání	22	mimopecně rafinovaná ocel
14	vyzdívka ocelářské pece			27	odlitá ocel
18	legovací a dezoxidační přísady				
21	inertní plyn pro vakuové zpracování				
24	speciální přísady (licí prášky, krycí strusky, exotermické přísady apod.)				
25	intenzifikátory varu neuklidněných ocelí				

7.2.1 Výroba oceli v Siemens – Martinských pecích

V martinských pecích se převážná část oceli vyrábí tzv. rudným pochodem. Tento typ pece má samostatné regenerátory pro plyn a vzduch. Mřížoví regenerátorů je ohříváno odcházejícími spalinami. Po dosažení dostatečně vysoké teploty je pak přes mřížoví regenerátorů propouštěn vzduch a plyn. Předběžný ohřev plynu a vzduchu zajišťuje zvýšení teploty plamene, což zlepšuje předávání tepla ohřivanému materiálu. Vždy se jeden pár mřížoví ohřívá odváděnými spalinami a druhý pár mřížoví předává naakumulované teplo vzduchu a plynu. PO uplynutí určité doby, kdy se jeden pár mřížoví dostatečně ohřeje a druhý dostatečně ochladí, se proudy plynu, vzduchu a spalin reverzují-ohřáté regenerátory se převádějí na předávání tepla plynu a vzduchu a ochlazené na ohřev.

Řízení tavby v SM peci vyžaduje velké umění. Tavič, který bere v úvahu celý předešlý průběh tavby, odhaduje okem obsah uhlíku a ostatních příměsí podle charakteru varu lázně a řady jiných příznaků, přičemž údaje chemické analýzy mu slouží k potvrzení výsledků svých odhadů. Značnou komplikaci vnáší do řízení tavby směnnost.

Úlohy optimalizace chodu jednotlivých pecí navzájem mezi sebou a taktéž úlohy stanovování jednotlivých údobí tavby v každé peci řeší informační řídicí systém ocelárny. Řeší úlohy ve třech úrovních. Na prvním stupni systém řídí tepelný režim každé pece. Další stupeň vybírá systém zadání systému tepelného režimu na jednotlivá údobí tavby, provádí se kontrola jejich průběhu, určuje se jak složení vsázkových materiálů, sazených do pece, tak i množství sazeného železa, nalévaného do pece, stanovuje se doba nalévání surového železa a doby sázení materiálů v údobí dohotovení. Na nejvyšším stupni hierarchie systém řeší metodou predikce algoritmus časové návaznosti údobí taveb na různých pecích a vydává pokyny na změny délek jednotlivých údobí druhému stupni.

Prvořadou úlohou je výpočet množství vsázkových materiálů a surového železa, potřebných k vytavení v dané peci oceli zadané značky a váhy. Tento výpočet musí být proveden v časovém předstihu před započítáním tavby, aby byl dostatek času k přípravě soupravy se v sázkovými materiály a k jejímu převezení k peci. Další funkci, kterou plní druhý stupeň je předpověď délky každého údobí tavby. Doba trvání sazení se určuje podle normativní doby trvání operace sazení koryta do pece, celkového počtu koryt počtu sázeček, které se účastní sazení.

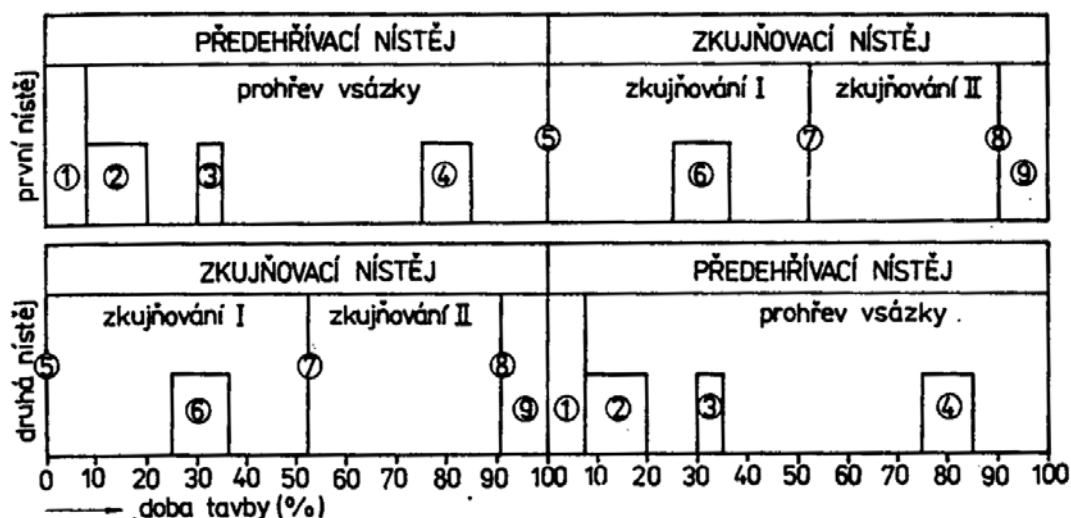
7.2.2 Výroba oceli v tandemových pecích

Jak vyplývá z definice tandemového pochodu výroby oceli, jedná se o typ dvounístějové pece, kde v jedné nístěji probíhají pochody typické pro metalurgii výroby oceli a v druhé nístěji pochody tepelně energetické, jako je spalování odpadních plynů a sdílení tepla, jejichž cílem je co nejvíce prohřát tuhou vsázku. Proto musí být tandemová pec konstrukčně řešena tak, aby účinně plnila úlohy jak metalurgické, tak tepelně energetické. Těmto úkolům musí být podřízeno i optimální řešení potřebných obslužných zařízení.

Princip tandemového pochodu výroby oceli

Kyslíkové pochody výroby oceli byly v polovině šedesátých let tohoto století rozšířeny o tandemový výrobní pochod. Tandemové pece tvoří přechod mezi Siemensovy - Martinovými pecemi (SM pece) a LD kyslíkovými konvertory. Na rozdíl od LD konvertoru je v tandemových pecích kyslík dmýchán do lázně ze vzdálenosti řádově centimetrů, u LD konvertoru řádově metr.

Tento způsob dmýchání při vhodné konstrukci zkujňovacích trysek umožňuje u tandemové pece výrazně omezit spalování vyvíjeného CO ve zkujňovací nístěji a využít jej k účinnějšímu přehřevu tuhé vsázky při spalování kyslíkem nebo při kombinovaném spalování kyslíkem a vzduchem v přehřívací nístěji. Tím je dán i další rozdíl mezi posuzovanými pochody. Zatímco u pochodu LD a Martinova pochodu se využívá jednonístějových jednotek, tandemová pec je dvounístějová. Avšak na rozdíl od nístějové SM pece je to pecní jednotka bez regenerátorů, u níž se v jedné nístěji zkujňuje plyným kyslíkem jako u LD konvertoru a v druhé nístěji se využívá fyzikálního tepla a spalování CO odpadních plynů na CO₂ k přehřevu tuhé vsázky. Po každém odpichu se funkce nístějí vzájemně mění (viz harmonogram tavby v tandemové peci na Obr. 29)



Obr. 29 Harmonogram tavby v tandemové peci [BÖHM1984]

Jednotlivé operace znázorněné na Obr.29 mají tento význam:

1 - prohlídka pece - po každé tavbě je nezbytné prohlédnout nístěj, Výsledkem prohlídky je rozhodnutí, zda je možno pokračovat v cyklování funkce nístějí bez meztavbové opravy.

2 - sázení ocelového odpadu - po prohlídce pece následuje období sázení tuhé vsázky. U 200 tunové pece se obvykle vsazují dvě velkoobjemové bedny, každá obsahuje kolem 28 tun tuhé kovonosné vsázky.

3 - sázení vápna - pro zajištění rychlé tvorby primární strusky je nutno první dávku vápna použít již do vsázky. Z organizačních důvodů se obvykle sázení vápna provádí okamžitě po nasázení ocelového odpadu. Množství vápna do vsázky se určuje podle obsahu křemíku v surovém železe. Pohybuj se od 4 tun (při obsahu křemíku pod 0,5 hmotnostních %) do 8 tun (obsah křemíku nad 1,0 hmotnostních %).

4 - nalévání surového železa - celkové množství tekutého surového železa se pohybuje kolem 150 až 155 tun. Nalévání nemá začít dříve než při odběru první zkoušky na vedlejší nístěji, a to proto, aby byl zajištěn dostatečný prohřev tuhé vsázky. Avšak nalití surového železa má být ukončeno před začátkem odpichu na vedlejší nístěji, aby nevznikly prostoje.

Údobí mezi operací 3 a 4 se nazývá **prohřev vsázky**.

5 - začátek dmýchání kyslíku - před touto operací je nutno zavést zkujňovací trysky do pracovní polohy. Kyslík se začíná dmýchat nejdříve při začátku odpichu na vedlejší nístěji.

6 - stahování pěnivé strusky -

Údobí mezi operací 5 a 6 se nazývá **první část zkujňování I**.

7 - odběr prvního zkušební vzorku - odebírá se vzorek kovu, u vybraných jakostí i vzorek strusky, a změří se teplota roztavené lázně.

Údobí mezi operacemi 6 a 7 se nazývá **druhá část zkujňování I** a údobí mezi operacemi 5 a 7 je označováno jako **zkujňování I**.

8 - odběr posledního zkušební vzorku - provádí se po ukončení zkujňování, při předpokládaném odpichovém obsahu uhlíku a předpokládané odpichové teplotě a po splnění podmínky dostatečně nízkých obsahů fosforu a síry. Odebírá se vzorek kovu, vzorek strusky a měří se teplota lázně. Údobí mezi operacemi 7 a 8 se nazývá **zkujňování II**.

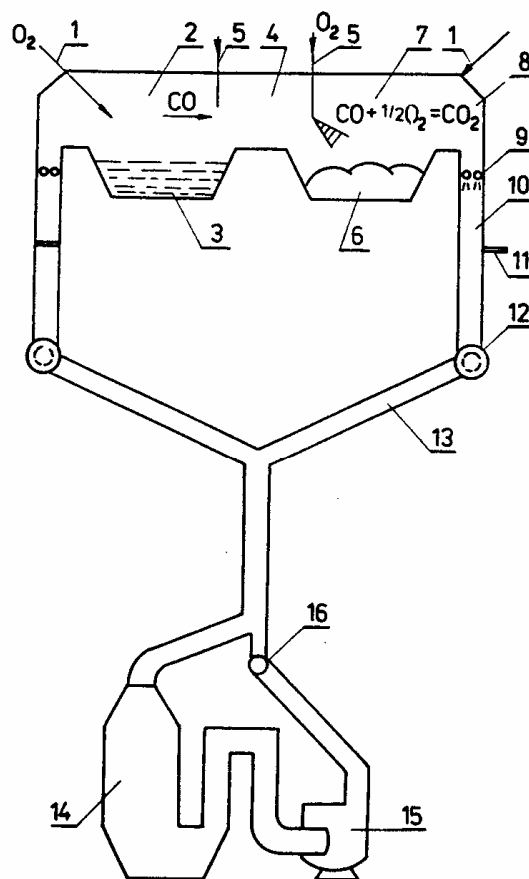
9 - odpich - po obdržení informací o teplotě kovu a obsahu uhlíku a o jistotě, že obsah síry a fosforu bude odpovídat požadavkům vyráběné jakosti oceli, lze přistoupit k odpichu kovu z pece do odlévací pánve.

Údobí mezi operacemi 8 a 9 se nazývá **úprava kovové lázně**, popř. strusky. V tomto údobí se např. vnášejí do pece legovací a dezoxidační přísady u jakostí, které vyžadují značná množství těchto přísad. Zbývající dávka se pak přisazuje do pánve.

Po každém odpichu je nutné provést reverzaci uzavíracích zařízení odtahových traktů. Po reverzaci se změni směr proudění spalin a ze zkujňovací nístěje se stává nístěj předehřivací.

Konstrukce tandemových pecí a obslužného zařízení

Pro snazší pochopení konstrukčních řešení tandemové pece a obslužného zařízení je uveden stručný popis základních uzlů tandemové pece a obslužného zařízení včetně jejich funkcí. Schematické znázornění je na Obr. 30.

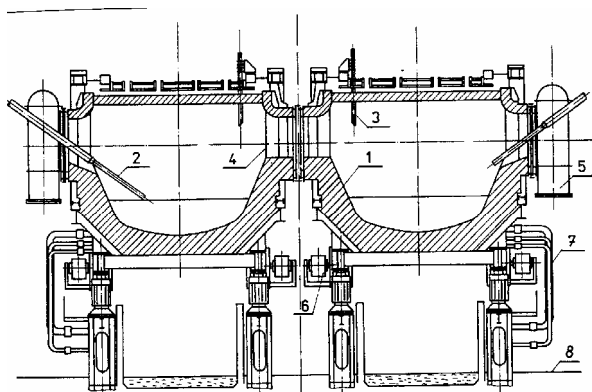


Obr. 30 Schématické znázornění významných technologických uzlů tandemových pecí [BÖHM1984]

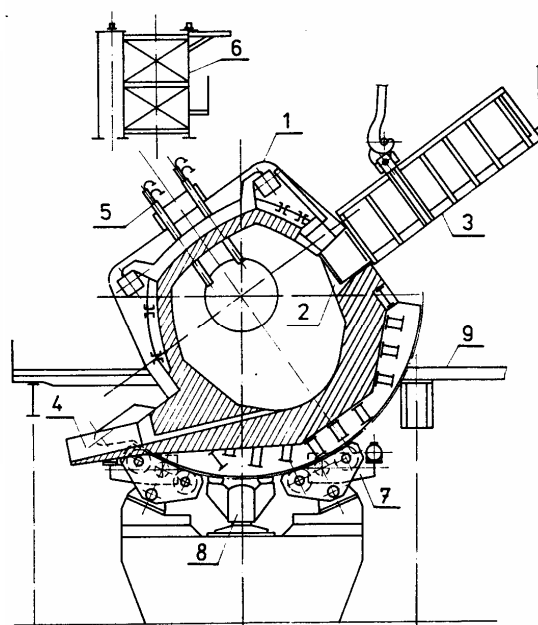
1 - zkujňovací tryska, 2 - zkuňovací nístěj, 3 - roztavená lázeň, 4 - převáděcí kanál, 5 - dospalovací tryska, 6 - tuhá vsázka, 7 - předehřivací nístěj, 8 - odtahový oblouk, 9 - vodní sprcha pro chlazení odpadních plynů, 10 - odtahová šachtice, 11 - reverzační klapka, 12 - vodní zvonový uzávěr, 13 - odtahový kanál, 14 - mokré odprašování spalin, 15 - ventilátor, 16 - komín.

Z obrázku vyplývá, že obě nístěje jsou geometricky a konstrukčně shodné. V jedné z nich probíhá zkujňování lázně technicky čistým kyslíkem. Pro přívod kyslíku do lázně slouží zkujňovací trysky. Vznikající plynné zplodiny zkujňování, bohaté na CO, s teplotou kolem 1500 °C se převádějí ze zkujňovací nístěje do předehřívací nístěje. K tomuto účelu slouží převáděcí kanál. Ke spalování CO v předehřívací nístěji je nutno přivést oxidační médium, a to kyslík či směs kyslíku a vzduchu. K tomuto účelu jsou zde zabudovány dospalovací trysky. Jelikož funkce nístějí se periodicky mění, musí být zkujňovacími i dospalovacími tryskami vybaveny obě nístěje.

Spaliny z předehřívací nístěje vstupují do odtahového traktu. Ten musí být vybaven uzavíracím zařízením, které se po tavbě střídavě otevírá a uzavírá a určuje směr proudění spalin podle toho, která z nístějí je předehřívací. U odtahových šachtic je umístěna strusková komora k zachování větších částic strhávané strusky a prachu změnou směru a rychlosti proudění plynů. Rovněž se zde používá chlazení plynů vodní sprchou ke snížení teploty spalin pod bod výbušnosti, obvykle pod 500 °C. Jelikož odpadní plyny jsou značně znečištěny prachem, což je typické pro všechny kyslíkové pochody výroby oceli, je dalším důležitým uzlem čistírna plynu.

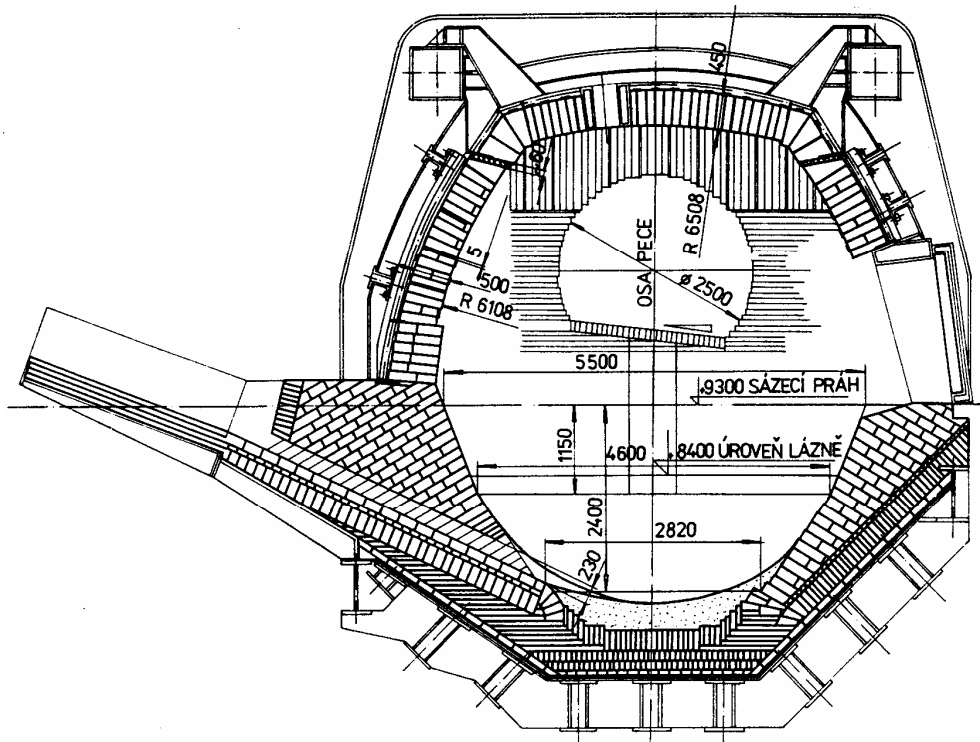


Obr. 31 Podélný řez sklopnou tandemovou pecí
 1 - tandemová pec, 2 - zkujňovací tryska,
 3 - dospalovací tryska, 4 - převáděcí kanál,
 5 - odtahová šachtice, 6 - mechanické sklápěcí
 zařízení, 7 - přívod a odvod chladicí vody,
 8 - hutní úroveň ± 0 m [BÖHM1984]



Obr. 32 Příčný řez sklopnou tandemovou pecí
 1 - tandemová pec, 2 - sázecí otvor, 3 - velkoobjemová
 sázecí nádoba, 4 - odpichový otvor, 5 - dospalovací tryska,
 6 - jeřábové dráhy, 7 - sklápěcí mechanismus s elektrickým
 pohonem, 8 - hydraulický válec pro zvedání pece na úroveň
 pecní plošiny + 8,5 m [BÖHM1984]

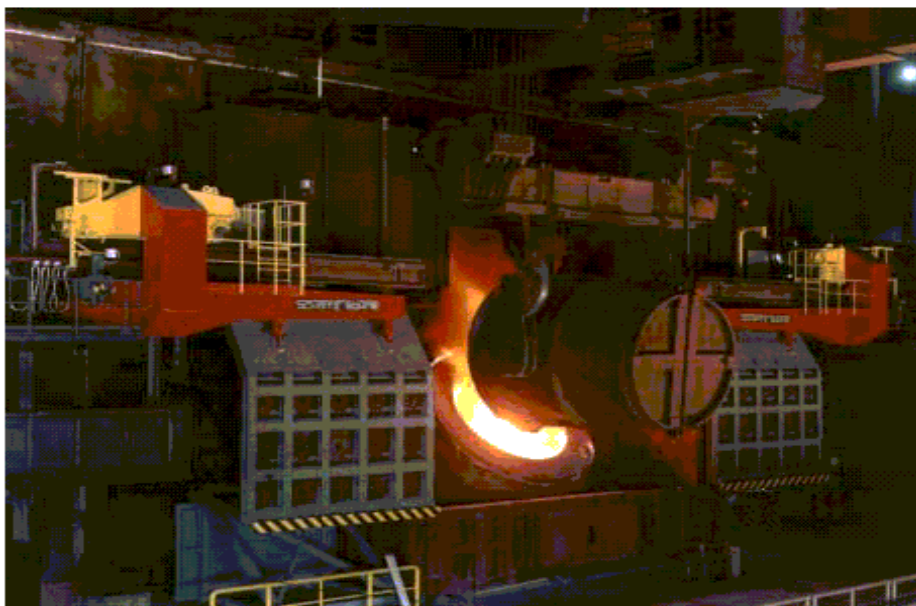
Vlastní pec tvoří nístěj, dále pak stěny a klenba, které jsou zpravidla sestaveny z panelů pro rychlou výměnu vyzdívky. V přední stěně jsou sázecí otvory, jeden pro každou nístěj. Tyto otvory jsou zakryty pohyblivými dvířky. Při stanovení rozměrů nístěje bylo nutno brát ohled na tepelnou práci pece. Užitečné teplo tandemové pochodu, a tím i podíl odpadu je za daného složení a teploty surového železa tím vyšší, čím menší jsou tepelné ztráty stěnami obou nístějí. V zadní stěně tandemové pece je umístěn odpichový otvor. Některé parametry nístěje, typické pro konstrukční řešení 2 x 200 tunové tandemové pece, jsou znázorněny na Obr. 33.



Obr. 33 Příčný řez vyzdívkou sklopné 2 x 200 tunové tandemové pece s vyznačením důležitých rozměrů (mm) [BÖHM1984]

7.2.3 Výroba oceli v kyslíkových konvertorech

První zásaditá pec s dmýcháním kyslíku o výrobní velikosti (také nazývaná kyslíkový konvertor) byla postavena v Linci v roce 1953.



Obr. 34 Kyslíkový konvertor v okamžiku zavážení taveninou kovu. [IPPC]

Následně proces kyslíkového konvertoru společně s elektrickou obloukovou pecí (EOP) nahradily méně energeticky efektivní stávající procesy výroby oceli jako je Thomasův proces,

a SM pochod, (Besemer, Siemens-Martin). V EU byly poslední S-M pece vyřazeny z provozu na konci roku 1993. Tím pádem jsou dnes v EU k výrobě oceli pouze pochody v kyslíkovém konvertoru a elektrické obloukové peci. Procesy v kyslíkovém konvertoru pokrývají 2/3 výroby oceli a zbývající 1/3 pak obstarávají elektrické obloukové pece (týká se Evropské 15 v roce 1996).

Cílem kyslíkové výroby oceli je spálení (tj. oxidace) nežádoucích nečistot obsažených v kovové vsázce. Hlavními prvky, které tudíž přecházejí na oxidy jsou uhlík, křemík, mangan, fosfor a síra.

Účelem tohoto oxidačního procesu tedy je :

- snížit obsah uhlíku na předepsanou úroveň (z přibližně 4% na méně než 1 %, ale často níže),
- upravit obsah potřebných cizích prvků,
- odstranit nežádoucí nečistoty v maximálně možné míře.

Výroba oceli kyslíkovým pochodem je diskontinuální proces, který zahrnuje následující kroky:

- přepravu a skladování taveniny horkého kovu
- předúpravu taveniny horkého kovu (odsiřování)
- oxidaci v kyslíkovém konvertoru (oduhličení a oxidaci nečistot)
- úpravu sekundární metalurgií
- odlévání (kontinuální a/nebo do ingotů)

7.2.4 Přeprava a skladování taveniny horkého kovu

Tavenina kovu se dodává do ocelárny z vysoké pece pomocí přepravních vozů nebo torpédových pánví. Pánve jsou vyzděny korundem (Al_2O_3), mulitem, bauxitem, nebo cihlami z dolomitu s přídatnou izolující mezivrstvou mezi ocelí a žáruvzdorným materiálem.

Torpédová pánve tvaru míchačky horké taveniny pohybující se po kolejkách se stala převládajícím systémem. Směsná nádoba je na jedné straně podepřena a může se při vylévání svého obsahu otáčet. Torpédové pánve se obvykle projektují o kapacitě mezi 100 a 300 tunami, u největších jednotek dosahují až 400 tun. Projekt torpédové pánve minimalizuje tepelné ztráty. Skutečnost, že torpédová pánve zastává funkci míchačky horkého kovu, eliminuje potřebu zvláštního systému pro skladování horké taveniny.

I když dochází k přelévání do otevřené pánve, přechovává se horký kov v některých případech v míchačích. Jsou to otočné horizontální ocelové nádoby vyzděné žáruvzdornou vyzdívkou. Slouží k tomu, aby kompenzovaly výkyvy mezi výrobou vysoké pece a ocelárny, vyrovnávaly chemické složení u jednotlivých vysokopecních taveb a zajistily homogenní teploty. Kapacita moderních míchačů horkého kovu dosahuje až 2 000 tun.

7.2.5 Předúprava taveniny kovu

Klasická předúprava taveniny horkého kovu zahrnuje následující pochody:

- odsíření,
- odfosfoření,
- odstraňování křemíku,

V Evropě se používá při přípravě taveniny kovu pro kyslíkové konvertory obvykle pouze odsiřování. Odstraňování fosforu a křemíku ze vsázky zahrnuje nákladově a technicky dokonalý technologický proces, který se objeví v dohledné budoucnosti, aniž by byl zárukou současných požadavků.

Zlepšená vysokopeční metalurgie a snížené množství zaváděné síry pomocí redukčních činidel má za následek nižší obsah síry v tavenině horkého kovu.

Dnes specifikované koncentrace síry (mezi 0,001 a 0,020 %) pro vsázku do konvertoru se běžně upravují v zařízení na odsíření taveniny kovu, které je umístěno vně vysoké pece.

Mimopecní odsíření také s sebou přináší přínos z hlediska ochrany životního prostředí. Naproti vysokopečnímu pochodu tyto operace znamenají obvykle sníženou spotřebu koksu a aglomerátu, menší výtěžek taveniny kovu a ocelářské strusky, lepší kvalitu metalurgické strusky, delší dobu životnosti žáruvzdorné vyzdívky a nižší spotřebu kyslíku.

Známá odsiřovací činidla obsahují látky nasycené karbidem vápenatým, louhem sodným, bezvodou sodou, vápnem a hořčíkem.

Nejrozšířenější metoda odsiřování taveniny, které se dnes používá v Evropě, je založena na karbidu vápenatém, který dřívější sodný proces nahrazuje, s ohledem na likvidaci odpadu a důvodům zohledňujícím kvalitu ovzduší. Použití směsi karbidu vápenatého CaC_2 , hořčíku a vápna umožňuje, aby se tavenina kovu odsířila na výsledné hodnoty, pod 0,001 % bez ohledu na původní obsah síry. Nevýhody spočívají v dosti nízké efektivitě odsiřovacího činidla a potřebě intenzivního promíchávání odsiřovacího činidla s horkou taveninou. Jediným specifickým přínosem je, že procesem vzniká drobná (rozpadavá) struska, která se může snadno odstraňovat. Použití hořčíku kromě karbidu vápenatého je asi tak běžné, jako použití karbidu vápníku samotného. Další odsiřovací činidla obsahují práškové vápno, vápno v kombinaci se zemním plynem a hořčíkem.

Proces odsiřování se uskutečňuje větším počtem různých metod a systémů. V běžnějších variantách se odsiřování odbývá:

- v licích žlabech vysoké pece,
- v proudu odlévání,
- v přepravní pánvi, nebo
- v účelově projektovaných hutních nádobách.

Známé odsiřovací zařízení obsahuje ponornou trysku, výpustnou pánev, rotující a oscilující nádoby a třepací zařízení pro použití v pánvi. Nejobvykleji se používá karbidu vápenatého v kombinaci s ponornou tryskou a mícháním. Hořčík se přidává do nosného plynu v práškové formě pomocí ponorné trysky. Proces odsiřování se uskutečňuje ve zvláštních úpravářských jednotkách.

7.2.6 Oxidace v kyslíkovém konvertoru

S ohledem na plnění výše uvedených cílů se nežádoucí nečistoty oxidují při následném odstranění s odcházejícím plynem nebo se struskou. V dalším odstavci jsou vyjmenovány hlavní oxidační procesy, ke kterým v kyslíkovém konvertoru dochází. Nežádoucí nečistoty se odstraňují v odcházejícím plynu, nebo tekuté strusce.

Chemické reakce, které nastávají během oxidačního procesu.

eliminace uhlíku : $[\text{C}] + [\text{O}] \leftrightarrow \text{CO}$ (výstupní plyn)

$[\text{CO}] + [\text{O}] \leftrightarrow \text{CO}_2$ (výstupní plyn)

oxidace doprovodných prvků z příměsí přechází do strusky

odstranění křemíku: $[\text{Si}] + 2[\text{O}] + 2(\text{CaO}) \leftrightarrow (2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$

reakce manganu: $[\text{Mn}] + [\text{O}] \leftrightarrow (\text{MnO})$

odfosfoření: $2[\text{P}] + 5[\text{O}] + 3[\text{CaO}] \leftrightarrow (3 \text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5)$

odsíření: $[S] + [CaO] \leftrightarrow (CaS) + [O]$

redukce (odkysličení)

odstranění zbytkového kyslíku: $[Si] + 2[O] \leftrightarrow (SiO_2)$
pomocí ferrosilicia

pomocí hliníku: $2[Al] + 3[O] \leftrightarrow (Al_2O_3)$

pozn: [] = rozpouští se v železe
() = přechází do strusky

Energie potřebná ke zvýšení teploty a k tavení vstupních surovin se dodává exotermickou reakcí při oxidaci tak, že na jedné straně není třeba žádného přídavného tepla na vstupu a na straně druhé se musí přidávat šrot nebo ruda, aby se vyrovnávalo teplo. Do některých konvertorů a při pochodech spojených s dmýcháním se injektují dmýšními trubkami jako chladicí médium plynné uhlovodíky (např. zemní plyn - viz Obr.36).

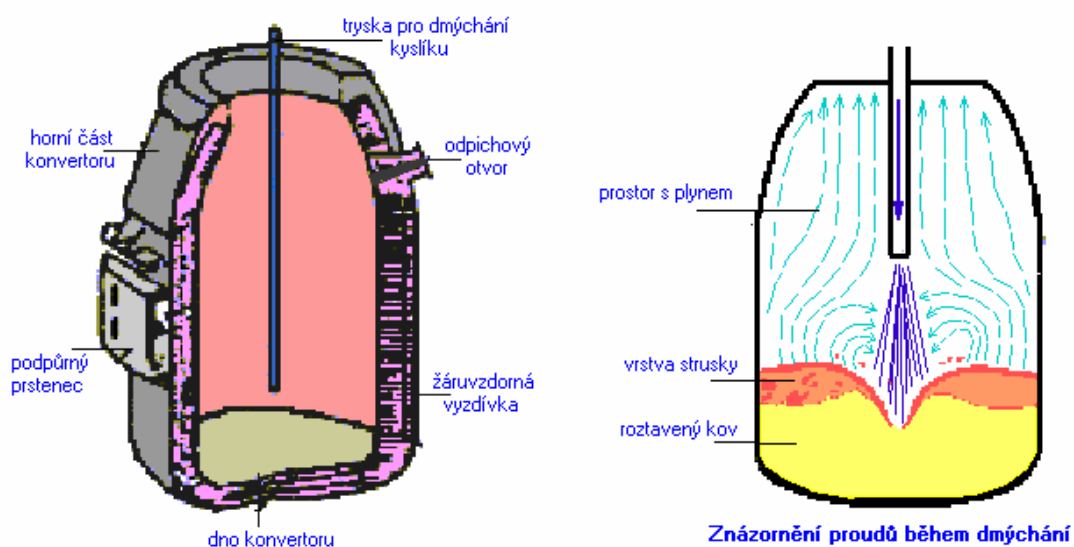
Proces v kyslíkovém konvertoru je semikontinuální. Úplný cyklus tvoří následující fáze:

- zavážení šrotu a roztaveného surového železa,
- dmýchání kyslíku (hlavní dmýchání-měření teploty a chemického složení- dofuky)
- vzorkování a zaznamenávání teploty,
- odpich.

V moderních ocelárnách se vyrobí cca 300 t oceli v průběhu 30-40 minutového cyklu. Pro uzpůsobení jakosti oceli a tvorbu strusky se během pochodu přidávají rozličné přísady. Během zavážení a odpichu je konvertorová pec nakloněna. Během dmýchání kyslíku má konvertor svislou polohu.

Existuje několik druhů reaktorů, které se používají při tomto kyslíko-konvertorovém procesu. Nejběžněji používaným typem je konvertor LD (Linz-Donawitz), který se používá pro surové železo s nízkým obsahem fosforu. V případě vysokého obsahu fosforu se využívá procesu modifikovaného (LD/AC proces, tj. procesu Linz-Donawitz / Arbed-CRM).

Konvertor má hruškovitý tvar se žáruvzdornou vyzdívkou, kde je naspodu zavedena vodou chlazená tryska pro kyslík. Touto tryskou se do tekutého surového železa dmýchá čistý kyslík (> 99 %) z kyslíkárny. (Obr. 35)

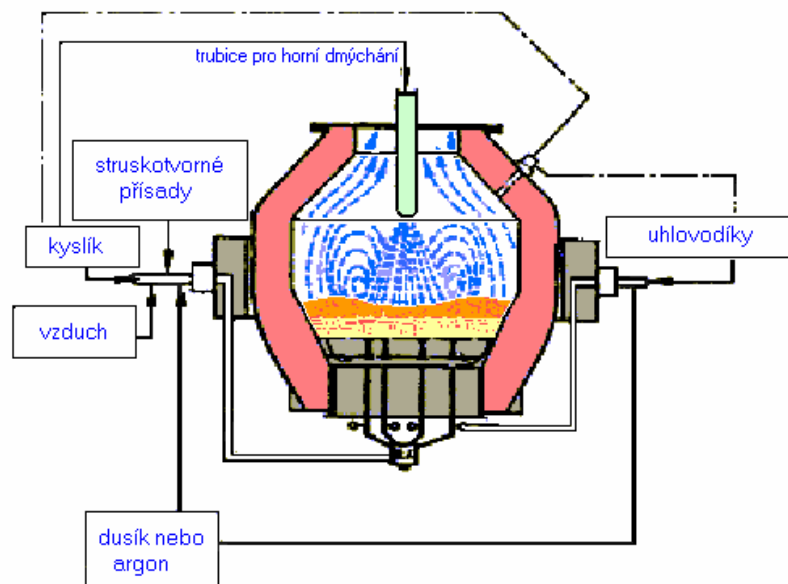


Obr. 35. Konvertor s horním dmýcháním /Ullmann's, 1994/

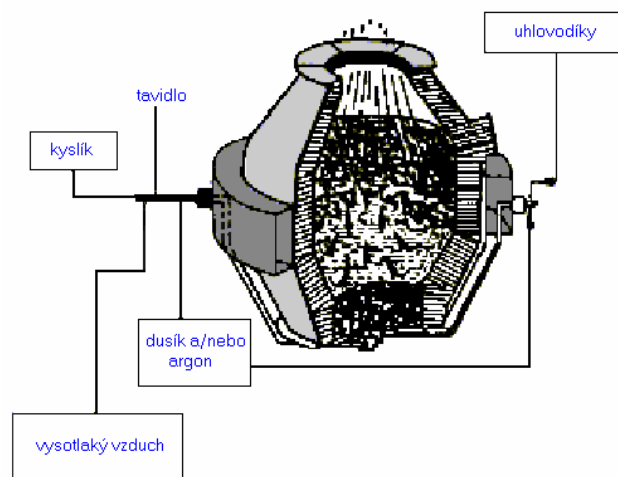
Další typy reaktorů pro výrobu oceli jsou OBM (proces Oxygen - Bottom- Maxhütte), nebo Q-BOP a LWS (proces Loire-Wendel-Sprunch). Tyto pochody se liší od LD konvertoru v tom, že namísto vrchního dmýchání kyslíku pomocí zatažitelné trubky se kyslík a tavidla dmýchají pomocí ponorných trysek u dna pece (Obr. 36) /EC BOF, 1995/.

V těchto konvertorech se kyslík injektuje ode dna tryskami chlazenými pomocí uhlovodíků, dmýcháných do taveniny.

Následně byly vyvinuty kombinované techniky dmýchání. Tam, kde je to nutné, může být proces v určité fázi intenzifikován promícháváním odspoda s argonem nebo dusíkem přes porézní cihly ve vyzdívce dna.. Alternativně se dmýchací trubice ve dně využívají v průběhu fáze dmýchání k injektáži čistého kyslíku nebo jiných plynů. Dochází k intenzivnější cirkulaci roztavené oceli a zlepšuje se reakce mezi kyslíkem a roztaveným kovem. Nejčastějšími typy jsou procesy LBE (Lance-Bubbling-Equilibrium = tryska pro rovnoměrné probublávání) a proces TMB (Thyssen-Blowing Metallurgy = metalurgie dmýchání Thyssen). Zvláštní verzí je pochod KMS (Klökner-Maxhütte-Steel Making = Kloknerův proces výroby oceli), kdy se kyslík injektuje zdola společně s vápnem a uhlím.



Obr. 36 Řez konvertorem OBM. [IPPC]



Obr. 37 Kombinovaná technika dmýchání s horní nebo postranní dmýchací trubicí . [IPPC]

Množství spotřebovaného kyslíku závisí na složení kovové taveniny (tj. obsahu C, Si, P). Vývoj procesu tvorby oceli se posuzuje odebráním vzorků roztaveného kovu. V moderních závodech se vzorkování provádí, aniž by se přerušilo dmýchání kyslíku používáním pomocné trubky. Stejného výsledku se dosáhne normováním postupu výroby a/nebo použitím odpovídajícího modelování dynamiky a monitorování. Tyto pracovní postupy udržují jakost, produktivitu a snižují emise kouřových plynů během naklání konvertoru. Jakmile jakost oceli vyhovuje požadavkům, zastaví se dmýchání kyslíku a surová ocel se odpichem vypustí z konvertoru na pánev. Roztavená ocel se pak po sekundární metalurgii přepraví k odlévacímu stroji.

Oxidační reakce jsou exotermní, tedy narůstá teplota roztaveného železa. Pro ochlazení se přidává šrot, železná ruda nebo jiné ochlazovací příměsi a teplota se udržuje přibližně v rozmezí 1600 až 1650° C. Obvykle tvoří šrot 10-20 % vsázky konvertoru, ale někdy může dosáhnout až 40 %. Množství vsazovaného šrotu závisí na způsobu předúpravy surového železa a na teplotě potřebné pro odpich tekuté oceli /UBA, Comments, 1997/. Výkyvy tržních cen šrotu a požadované specifikace oceli mají také svůj vliv.

Během procesu výroby oceli se tvoří struska. Záměrem regulace strusky je efektivní snížení množství nežádoucích substancí, které jsou obsaženy v horké tavenině a produkce strusky o vysoké jakosti, která bude vyhovující pro následné zpracování a použití.

7.3 Mimopecní zpracování oceli

Mimopecní rafinace (označovaná též jako pánvová metalurgie, sekundární metalurgie) plní dnes funkci spojovacího článku mezi výrobním agregátem a vyšším stupněm zpracování tekuté oceli na ZPO s vysokými požadavky na exaktnost vstupů. Tato úprava oceli se vyvinula jako odezva na stále rostoucí požadavky na jakost a vedla k podstatnému růstu produktivity přesunem vsázky při metalurgickém rafinačním procesu mimo konvertor.

Lze konstatovat, že bez mimopecní metalurgie lze obtížně hovořit o dodržení potřebné jakosti, o uplatnění sekvenčního lití, lití malých průřezů apod. Obsah a záměry mimopecní metalurgie jsou podstatně širší než bylo naznačeno. Homogenizaci a korekci lze ovšem považovat za obecný a společný rys všech postupů mimopecního zpracování oceli, která je při plynulém zpracování oceli základní kvalitativní podmínkou.

Hlavní úkoly sekundární metalurgie jsou následující:

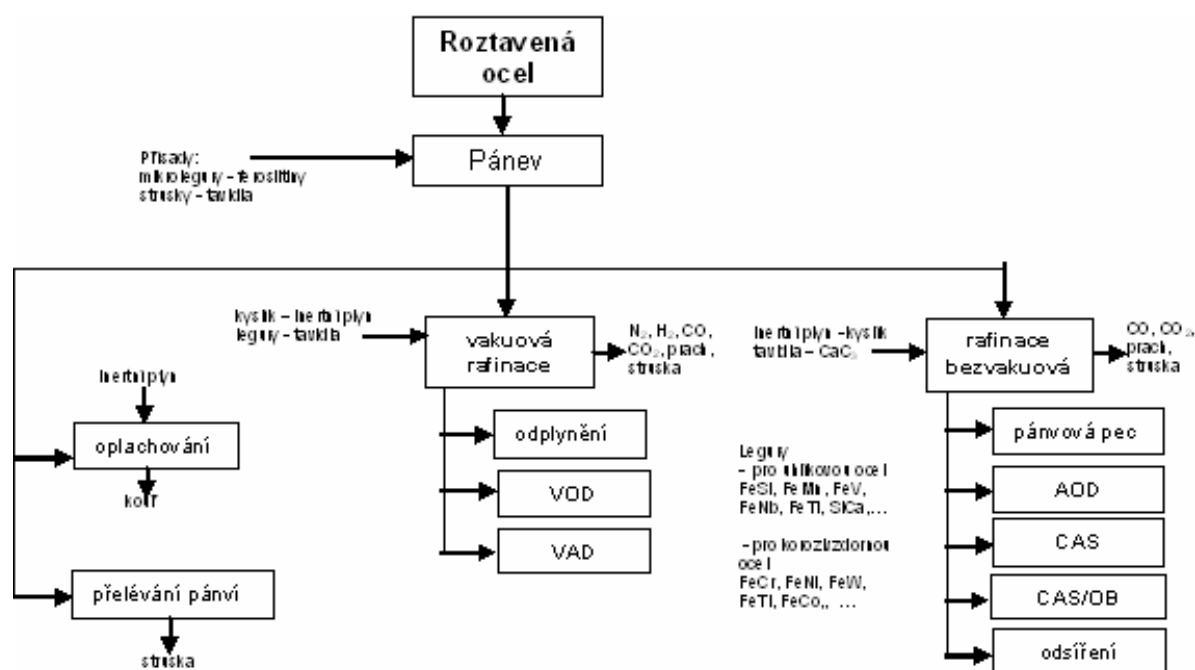
- míchání a homogenizace
- úprava chemického složení v mezích analytické tolerance
- včasná úprava teploty pro následný proces odlévání
- odkysličení
- odstranění nežádoucích plynů jako jsou vodík a dusík
- zlepšení čistoty oxidace oddělením nekovových příměsí

Přehled operací u sekundární metalurgie se uvádí na obrázcích Obr. 38 a Obr. 39. Tyto pochody se konají na pánvi, nebo v pánvové peci ve vakuu, nebo v účelově konstruovaných pecích.

Nejdůležitějším krokem při sekundární metalurgii je úprava ve vakuu. Ta slouží hlavně k odstranění plynů, vodíku, kyslíku, dusíku nebo zbytkových koncentrací uhlíku z oceli při vakuu až 50 Pa. Účelem této operace je oduhličení a oproštění oceli od plynů rozpuštěných za tepla během cyklu dmýchání. Tak se může poklesem tlaku až na 10 mbarů snížit hmotnostní obsah kyslíku a dusíku až na 0,0002 % resp. 0,005 %.

Zamezení přetoku strusky	
Mísení/homogenizace přísad	dmýchání plynu porézni zátka u dna Elektrmagnetické vinutí trubice
Injektáž pevných látek	
Úprava ve vakuu	
Ohřev	
Ochrana proudu materiálu při vylévání	
Elektrmagnetické míchání ve spojení s plynulým odléváním	

Obr. 38 Přehled pochodů sekundární metalurgie. [IPPC]



Obr. 39 Procesy sekundární metalurgie/úprava na páni . [IPPC]

Legenda:

VOD: Vakuum-Oxygen-Decarburisation= oduhličení kyslíkem ve vakuu;

VAD: Vacuum-Arc-Degassing=odplynění obloukem ve vakuu;

AOD: Argon-Oxygen-Decarburisation = oduhličení argonem a kyslíkem;

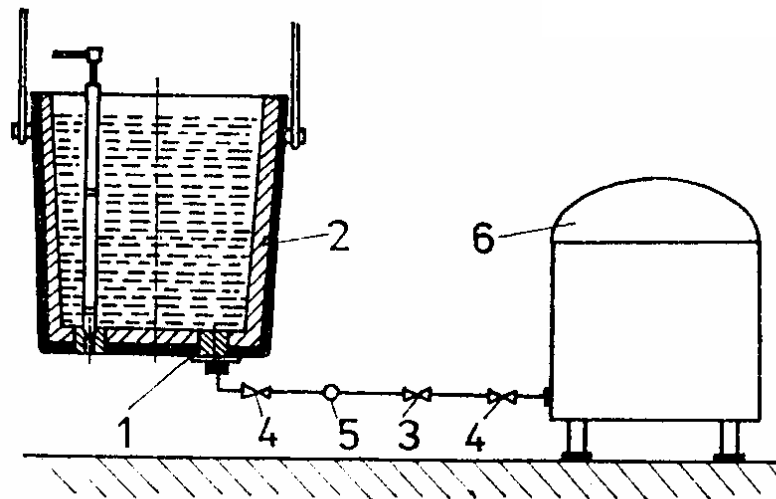
CAS: Compositional Adjustment by Sealed Argon Bubbling= úprava složení probubláváním argonem v izolaci;

OB: Oxygen Blowing= dmýchání kyslíku

7.4 Zařízení sekundární metalurgie

7.4.1 Stanice homogenizace inertním plynem (SHIP)

Vhánění jemně rozptýlených bublin argonu do ocelové lázně usnadňuje přechod plynů rozpuštěných v tavenině do plynné fáze a vyvozuje flotační účinek na nekovové vměstky v tavenině, které se usazují na plynových bublinkách a jsou jimi vynášeny do strusky. Kromě uvedeného fyzikálního vlivu argonu lze jeho vhánění vyvodit i mechanický účinek, kterým se dosahuje co nejdůkladnější homogenizace lázně po stránce chemického složení i rozložení teplot. Schématické znázornění stanice homogenizace inertním plynem je na obrázku 40.



Obr. 40 Schématické uspořádání při vhánění argonu do roztavené oceli
1 - prodyšná tvárnice, 2 - licí pánev, 3 - regulátor tlaku, 4 - redukční ventil, 5 - měření spotřeby argonu, 6 - tlakové láhve s argonem

7.4.2 Vakuovací stanice (DH/RH)

(DH - vakuové vztlakové odplynění, RH - vakuové recirkulační odplynění).

Dnes operace úpravy ve vakuu zahrnují přesné oduhlíčení a odkysličení nelegovaných ocelí, oduhlíčení chromem legovaných jakostních tříd, odstranění síry a vměstků, stejně jako rozličné legování, homogenizaci, řízení teploty a preventivní opatření před reoxidací. Vakuová metalurgie poskytuje oceli o lepší čistotě, nižším obsahu plynu a užší toleranci legování.

Používají se následující metody vakuové úpravy :

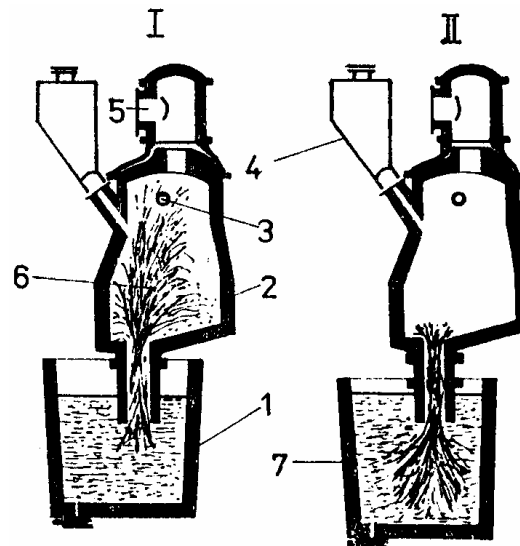
- odplynění stojící pánve nebo nádrže a
- recirkulační odplynění

Při vakuovém zpracování oceli způsobem DH se postupuje tak, že se odpichová pánev s roztavenou ocelí vhodně umístí pod nasávací trubici ponorné vakuové komory. Vyčerpáním vzduchu a plynů z vakuové komory se hladina ve vakuové komoře zvedne do výšky odpovídající rozdílu tlaků ve vnější atmosféře a v komoře, tj. do výše asi 1400 mm. Opakovaným zvedáním a spouštěním vakuové komory nebo pánve se komora naplňuje a vyprazdňuje. Při jednom pracovním cyklu vstoupí do komory 1/10 až 1/20 oceli v pánvi; proto se tyto cykly opakují až do dosažení žádaného stupně odplynění.

Dnes obvyklejším procesem je recirkulační odplynění (RH). Při odplynění na pánvi je pánev, obsahující oxidovaný kov umístěna do vakuovaného kontejneru. Vstup přidavné energie zajišťuje vyšší reakční rychlosti a snižuje konečnou koncentraci nežádoucích složek v lázni. Tato intenzifikace může být doprovázena injektáží argonu pomocí jedné nebo více porézních zátek ve dně pánve, při homogenizaci taveniny pomocí trysky nebo procesem indukčního míchání.

Účel zpracování

- zamezit tvorbě vloček ve výkocích a vývalcích podstatným snížením obsahu vodíku
- zlepšit mechanické vlastnosti výrobků zejména jejich plastické hodnoty
- zlepšit ultrazvukovou čistotu materiálu omezením tvorby trhlin a hrubých vměstků
- zvýšit fyzikální i chemickou homogenitu taveniny a tím rovnoměrnost celé tavby
- snížit propal desoxidačních a legujících prvků a zpřesnit desoxidační a legovací postup, zejména úpravou pořadí legujících přísad
- zúžit rozmezí chemického složení při výrobě jednotlivých značek a provést jejich mikrolegování
- zvýšit oxidickou mikročistotu kovu.



Obr. 41 Schéma vakuovací stanice DH I - horní poloha II - dolní poloha

1 - lící pánev, 2 - ponorná vakuová komora, 3 - ohřev komory, 4 - zásobník legovacích přísad, 5 - odsávací trubice, 6 - odplyňovaná ocel, 7 - vytékající ocel

Hlavní části

- vakuová nádoba s jedním nasávacím hrdlem, vyžděná basickým žáruvzdorným materiálem
- vývěvová stanice s paroproudými vývěvami v barometrickém uspořádání
- zařízení pro ohřev žáruvzdorné vyždívky vakuovací nádoby plynovým ohřevem a pro její udržování na teplotě elektrickým odporovým ohřevem
- plně mechanizované a automatizované dávkovací zařízení přísad umožňující podávání přísad do oceli ve vakuu
- automatizovaný řídicí a kontrolní systém ovládající chod všech částí vakuovací stanice
- vůz pro přepravu pánve
- mechanismus s hydraulickým pohonem zajišťující kmitavý vertikální pohyb vakuové nádoby
- ocelové konstrukce

- zařízení pro rychlovýměnu vakuové nádoby a pro opravy její vyzdívky
- zařízení pro měření teploty a pro odběr vzorků.

Zpracování oceli

Hrdlo komory se ponoří do tekuté oceli v pánvi. Snížením tlaku v komoře se nasaje část ocele z pánve do komory a působením podtlaku se odplyní. Zvednutím komory nebo snížením pánve se odplyněná ocel vypustí pět do pánve, kde se promíchá se zbývajícím taveninou. Tento cyklus se opakuje, až se celý obsah pánve odplyní na požadovanou úroveň. Výměna obsahu komory se provádí 3 až 5 krát za minutu podle typu zařízení. V závěru zpracování se na hladinu ocele v komoře přisazují automaticky po dávkách potřebné desoxidační a legující přísady.

Základní technologické postupy

Ocel vyrobená v běžné ocelářské peci nebo konvertoru se odpíchne do pánve a přemístí k vakuové stanici. Podle zvoleného technologického postupu se mohou při odpichu přisadit do pánve některé legující nebo desoxidační přísady, případně nauhličovadlo. Pánev se obvykle umístí na převážecí vůz a převeze pod hrdlo komory. Podle značky vyráběné oceli a požadavků na její vlastnosti se na zařízení DH provádí:

- chemická a tepelná homogenizace
- odplyňování
- vakuová uhlíková desoxidace
- desoxidace a legování
- nauhličování
- oduhličování.

7.4.3 Pánvová pec (LF)

Pánvová pec (dále jen LF) je zařízení, kde je elektrickým obloukem ohřívána ocel v lící pánvi pod syntetickou struskou. Lící pánev s bazickou vyzdívkou je uložena na převážecím pánvovém voze. Vůz s tekutou ocelí v lící pánvi zajede pod víko LF.

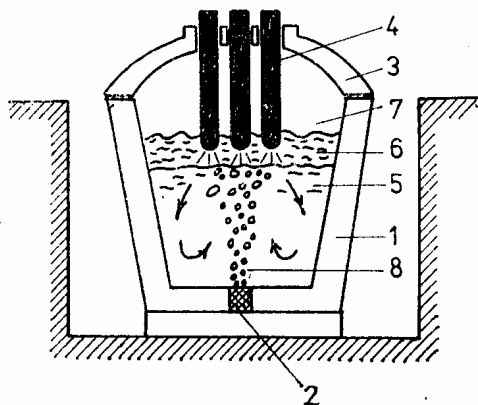
Vodou chlazené víko se spustí na pánev. Ocel v lící pánvi je prodmýchávána inertním plynem (Ar, N₂) v množství 1 - 5 l/min.t, který je foukán porézní tvárnici ve dně lící pánve.

Ocel v lící pánvi je ohřívána elektrickým obloukem, který hoří mezi třemi grafitovými elektrodami a hladinou oceli. Elektrody mají průměr 300 mm. K dosažení potřebného proudu a napětí slouží pecní transformátor o výkonu 10 MVA.

Pro úpravu chemického složení oceli v pánvi je LF zařízení vybaveno osmi zásobníky přísad (FeMn, Al, CaO, CaF₂, FeV, FeSi, FeCr, C). Písady jsou do pánve podávány mechanicky.

Účel zpracování:

- ohřev tekuté oceli o 2 - 5 °C/minutu
- rafinace oceli, zejména snížení obsahu síry, kyslíku a nekovových vměstků
- udržení tekuté oceli na teplotě
- zvýšení výrobnosti tavicí pece.



Obr. 42 Schéma pánvové pece

- 1 - pánev
- 2 - prodyšná tvárnice
- 3 - víko pánve
- 4 - grafitové elektrody
- 5 - roztavená ocel
- 6 - zásaditá struska
- 7 - redukční atmosféra
- 8 - bublinky argonu

Hlavní části zařízení LF

- ochranné víko s vodou chlazenými díly
- stojan s držáky, elektrodami a vodicími kladkami
- přívody elektrické energie s chlazenými díly
- zvedací zařízení víka
- třífázový transformátor s regulací příkonu
- hydraulické pohony pro pohyb víka a pohyb elektrod
- zařízení pro odsávání a čištění plynů vzniklých v procesu zpracování tekuté oceli
- zařízení pro mechanický odběr vzorku a měření teploty oceli a aktivity kyslíku v oceli včetně vyhodnocovací zařízení
- zařízení pro úpravu chemického složení oceli.

Proces zpracování

Po bezstruskovém odpichu tekuté oceli z tavicího agregátu do pánve resp. po odstranění strusky z povrchu oceli v pánvi se pánev s ocelí dopraví pod víko LF zařízení.

Po spuštění víka na pánev se hladina oceli v pánvi pokryje vrstvou syntetické strusky v požadovaném množství a grafitovými elektrodami ponořenými ve strusce se ocel ohřívá za současného dmýchání argonu dnem pánve. Během procesu se odebírají vzorky a upravuje se chemické složení, měří se teplota oceli a aktivita kyslíku v oceli. Proces končí pokrytím hladiny v pánvi izolační struskou a pánev se dopraví k licímu poli, kde se odleje do ingotů nebo k zařízení plynulého odlévání oceli.

Základní technologické postupy zpracování

- Ohřev taveniny spojený s legováním a desoxidací lázně: provádí se s menším množstvím strusky s hlavním cílem dosáhnout optimální licí teplotu. Uplatňuje se hlavně v případech kombinovaného zpracování tekuté oceli v pánvi.
- Ohřev s rafinací oceli zahrnující rafinační působení strusky na taveninu, tj. zejména odsíření oceli. Současně s tím se provádí i legování a desoxidace taveniny. Používá se větší množství syntetické strusky.

Výsledky zpracování způsobem LF

- zvýšení teploty taveniny a regulace licí teploty v úzkém rozmezí,
- rafinace taveniny působením syntetické strusky, zejména snížení obsahu síry, kyslíku a nekovových vměstků,
- dlouhodobé udržování tekuté oceli na stanovené teplotě,

- zvýšení výrobnosti ocelářských pecí převedením rafinace, legování a desoxidace ocele do pánve.

7.4.4 Odlévání

Když se dosáhne konečné jakosti oceli, převede se ocel v odlévací pánvi k odlévacímu stroji. Před několika lety bylo standardní metodou vylít roztavenou ocel do stabilních forem (kokila nebo odlévání do ingotů) v diskontinuálním procesu. Dnes se volí metoda plynulého (kontinuálního) odlévání, při kterém se ocel odlévá do nepřetržitého pásu.

7.5 Řízení při výrobě oceli kyslíkovými pochody

Cíle řízení na ocelárně- z rozsahu řízené soustavy vyplývají dvě základní řídicí úrovně

1. Úroveň řízení technického procesu v agregátech ocelárny
2. Řízení výrobního pochodu v ocelárně

Ad 1)

a) řízení vlastní výroby oceli v konvertoru - cílem je vyrobit ocel o požadovaném množství a kvalitě

1. výpočet parametrů vsázky dle statického modelu
2. řízení automatu přípravy a dopravy vsázky
3. řízení automatu pro ovládání polohy kyslíkové trysky nad lázni
4. ovládání a regulace množství kyslíku pro foukání
5. řízení plynné čistírny
6. řízení průběhu tavby v konvertoru podle dynamického modelu
7. komunikace s laboratoří pro vyhodnocení vzorků surového železa a oceli
8. sběr zobrazení uložení a vyhodnocování dat o stavu a průběhu technologického procesu
9. řešení havarijních situací, vzniklých v průběhu tavby

b) řízení technologického procesu v dalších agregátech ocelárny s cílem řídit dílčí technologický proces k dosažení kvality oceli

1. výpočet a řízení bezzbytkového lití ingotů
2. řízení technologického procesu plynulého odlévání oceli - ovládání výšky hladiny v krystalizátoru - řízení rychlosti tažení kontislitku - řízení a ovládání chladících sekcí - řízení bezzbytkového řezání kontislitku
3. řízení technologického procesu vakuování
4. řízení a ovládání dopravy přísad do zásobníku v ocelárně
5. sběr, vyhodnocování, zobrazení a zaznamenání údajů o průběhu procesu
6. řešení havarijních situací na jednotlivých technologických úsecích

Ad 2)

řízení výroby oceli v ocelárně s cílem vyrábět na ocelárně plánovaná množství plánovaných kvalit oceli v potřebném rytmu a s maximální efektivitou

1. zpracování krátkodobých plánů výroby (den-týden)
2. zpracování výrobního rozvrhu z hlediska hlavních agregátů na jednotlivé směny
3. operativní řízení práce v ocelárně
4. sledování toku materiálu výroby a energie na úseku ocelárny
5. řešení havarijních situací ve výrobě

6. statistika, evidence a bilancování
7. tisk výrobních záznamů
8. koordinace a vazba na spolupracující řídicí systémy vysokých pecí, válcovny, dopravy a energetiky a komunikace s nadřazeným řídicím systémem podniku a) a b) – úroveň 1. c) - úroveň 2.

7.6 Elektrická výroba oceli a odlévání

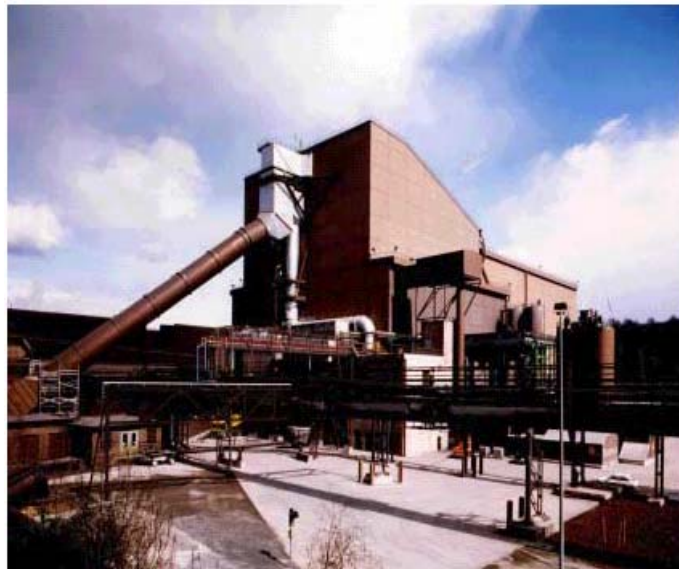
7.6.1 Používané postupy a techniky

Přímé tavení materiálů s obsahem železa, jako je např. šrot se provádí obvykle v elektrických obloukových pecích (EOP), které hrají důležitou a stále rostoucí úlohu v konceptech moderních oceláren (viz Obr. 2, 27). Dnes dosahuje procentuální množství oceli z elektrické obloukové pece 35,5 % celkové výroby oceli v EU. [IPPC] V Itálii a Španělsku je výroba oceli v elektrických obloukových pecích výrazně vyšší než výroba oceli postupem přes vysokou pec a kyslíkový konvertor (aniž by se uvažovaly členské státy, které mají výlučně výrobu založenou na elektrických obloukových pecích).

Hlavní vsázkou do elektrické obloukové pece je železný šrot, který může tvořit šrot z vlastních z oceláren (např. odřezky), odstřížky ze zpracování ocelových výrobků (např. součástí vozidel) a městský nebo spotřebitelský šrot (např. výrobky po uplynutí doby životnosti).

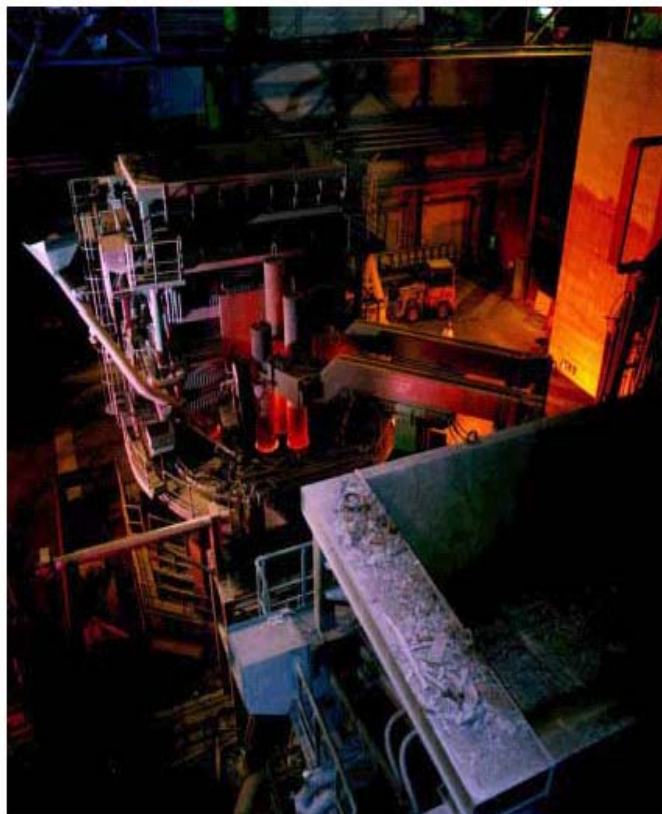
Přímo redukovaného železa (DRI) se také využívá zvyšující se měrou jako vsázky z důvodů jak jeho nízkého zbytkového obsahu, tak kolísavým cenám šrotu.

Stejně jako u kyslíkových konvertorů se struska tvoří z vápna, které váže nežádoucí složky z oceli. Obr. 38 ukazuje závod EOP. V tomto případě je stavba, která obsahuje dvouplášťovou elektrickou obloukovou pec úplně uzavřena, aby se minimalizovaly emise prachu, plynů a hluku.



Obr. 43 Závod elektrické obloukové pece . [IPPC]

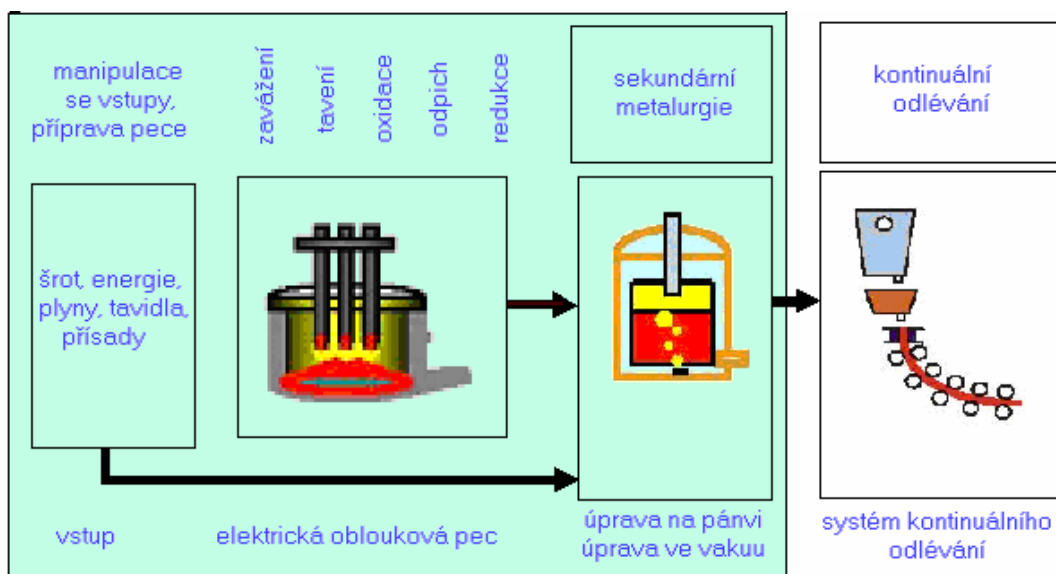
Na Obr. 44 lze sledovat elektrickou obloukovou pec s 3 elektrodami a šachtou pro zavážení šrotu.



Obr. 44 Elektrická oblouková pec se 3 elektrodami a šachtou (v popředí) pro vsazování šrotu. . [IPPC]

Přehled postupů spojených s výrobou elektrooceli je uveden na obr. 45.

Pokud jde o konečné produkty, musí se rozlišovat mezi výrobou běžné, tzv. uhlíkové oceli, stejně jako nízkolegované oceli a oceli vysokolegované tzv. korozivzdorné oceli. V EU se vyrábí okolo 85 % uhlíkové anebo nízkolegované oceli . [IPPC]



Obr. 45 Přehled postupů spojených s výrobou oceli v elektrické obloukové peci. [IPPC]

Při výrobě uhlíkové a nízkolegovaných ocelí se provádějí následující hlavní doprovodné operace:

- manipulace se surovinou a skladování,
- zavážení šrotu do pece včetně předehřevu nebo bez něho,
- tavení šrotu v EOP,
- odpichování oceli a strusky,
- úprava na pecní pánvi na požadovanou jakost,
- manipulace se struskou,
- plynulé (kontinuální) odlévání.

U vysokolegovaných a speciálních ocelí je souslednost operací složitější a přizpůsobuje se konečným produktům. Kromě těchto zmiňovaných postupů se provádějí u uhlíkových ocelí rozličné úpravy na pánvi (sekundární metalurgie) jako jsou:

- odsiřování,
- odplyňování (eliminace rozpuštěných plynů, jako je dusík a vodík)
- oduhličování (procesy AOD=Argon-Oxygen-Decarburisation nebo VOD=Vakuum-Oxygen Decarburisation)

7.6.2 Manipulace a skladování surovin

Hlavní úložiště šrotu jsou obvykle venku na velkém nezakrytém a nevydlážděném šrotišti, což může vést ke znečištění půdy, ale existují také určité závody, které mají šrotiště zakrytá a vydlážděná (upravenou úložnou plochu).

Dnes se stala důležitým problémem kontrola radioaktivity vstupního šrotu, ale tento relevantní problém se v tomto materiálu neřeší.

Určité třídění šrotu se provádí proto, aby se snížilo riziko zavlečení nebezpečných znečišťujících látek. Vnitropodnikový výrobní šrot se může řezat na vhodně manipulovatelné velikosti za použití kyslíkových hořáků. Šrot se může vkládat do sázecích košů na šrotišti nebo se může přepravit do prozatímních vyhrazených oddělení uvnitř pecní haly. V některých případech se šrot předehřívá v šachtě, nebo na dopravníku (viz předehřev šrotu).

Ostatní suroviny, včetně tavidel v kusech a prášku, práškového vápna a uhlí, legovacích přísad, antioxidačních činidel a žáruvzdorných materiálů se běžně skladují pod střechou. Po dodávce je manipulace minimální a kde je to zapotřebí, může se použít zařízení na odsávání prachu.

Práškovité materiály se mohou skladovat v izolovaných zásobnících (vápno je třeba udržovat v suchu) a přepravovat pneumaticky, nebo uchovávat a překládat v nepropustných pytlích.

7.6.3 Předehřev šrotu

V minulých letech stále více nových, stejně jako stávajících EOP doplňovalo své vybavení systémem pro předehřev šrotu pomocí výstupních plynů se zřetelem k rekuperaci energie. Dnes jsou odzkoušeny dva systémy, které byly úspěšně zavedeny do praxe a sice tzv. šachtová technologie a ConSteel Proces . [IPPC]

Šachtová technologie se vyvíjela po etapách. [IPPC] S jedinou šachtovou pecí se může běžně předehřát jen asi polovina vsazovaného šrotu, zatímco s kolébkovou chapadlovou šachtovou pecí (čímž se rozumí šachta s klecí na šrot), se může předehřát 100 % šrotu.

První koš se ohřeje teplem během předchozí rafinace a druhý během roztavení prvního. Další modifikací je dvojitá šachtová pec, která se skládá ze dvou identických šachtových pecí (dvouplášťové uspořádání), umístěných jedna vedle druhé a obsluhují se jedinou soupravou elektrodových ramen. Šrot se částečně předehřeje odcházejícím plynem a částečně postranními hořáky. Až do nynější doby (říjen 1998) se celosvětově provozovalo více než 20 šachtových pecí, z toho 8 v Evropě.

Při ConSteel Procesu se šrot plynule vsazuje do obloukové pece horizontálním dopravníkem. [IPPC] Tento systém, se ale obecně nepovažuje za odzkoušenou techniku.

7.6.4 Vsazování

Šrot se obvykle vsazuje do košů společně s vápnem nebo dolomitickým vápnem, kterého se používá jako struskotvorné přísady pro tvorbu strusky. V některých závodech se také přidává kusové uhlí, což má za následek relevantní emise benzenu (a také toluenu a xylenů). Pecní elektrody se při vsazování zdvíhají nahoru a klenba pece se přitom odklopí. Na počátku je běžné s prvním košem šrotu zavázat okolo 50-60 % šrotu; klenba se potom uzavře a elektrody se sníží dolů ke šrotu. Uvnitř, 20-30 mm nad šrotem se zažehne oblouk. Potom, co se roztaví první vsázka, se přidá zbytek šrotu ze druhého nebo třetího koše.

7.6.5 Tavení v obloukové peci a rafinace

Během počáteční doby tavení je použita energie nízká, aby se předešlo škodám na pecních stěnách a klenbě působením záření z elektrod, zatímco se umožní elektrodám, aby se ponořily šrotu. Jakmile se oblouky skryjí v okolním šrotu, může výkon vzrůstat až do úplného roztavení. Stále častěji se používají kyslíkové trysky anebo kyslíkové hořáky, aby napomáhaly v časném stádiu tavení.

Paliva tvoří zemní plyn a olej. Kromě toho se může do tekuté oceli vhnět speciálními tryskami ve dně a ve stěnách elektrické obloukové pece kyslík.

V průběhu posledních 30 let našel kyslík v ocelárnách s elektrickými obloukovými pecemi zvýšené uplatnění nejen z důvodů metalurgických, ale také z důvodů rostoucích požadavků na produktivitu. Růst využívání kyslíku se může přičítat dnešní dostupnosti kapalného kyslíku a kyslíkáren postavených v místě působení závodů /Knapp, 1996/.

Kyslíku se pro metalurgické potřeby používá pro oduhličení taveniny a odstranění dalších nežádoucích prvků, jakými jsou fosfor, mangan, křemík a síra. Kromě toho reaguje s uhlovodíky za vzniku exotermních reakcí. Injektáž kyslíku má za následek značný nárůst tvorby plynu a spalin na výstupu z pece. Tvoří se plyny oxidu uhelnatého a uhličitého a velmi jemné částice oxidu železa a další součásti kouřových spalin. V případě dospalování je obsah CO nižší než 0,5 % obj.

Pro vyrovnání teploty a k promíchávání lázně lze použít argon nebo další inertní plyny injektované do taveniny. Touto technikou se také zlepšuje rovnováha mezi kovem a struskou.

7.6.6 Odpich oceli a strusky

V závodech bez odděleného zařízení sekundární metalurgie se prvky k legování a další přísady vkládají často do pánve s ocelí během odpichu nebo před ním. Tyto přísady mohou během odpichu znatelně zvyšovat vznik kouřových plynů. Strusku je potřeba během ohřívání a oxidace ke konci ohřevu před odpichem odstranit. Pec se naklání, vzad ve směru struskových dveří a struska vytéká nebo se vyhrabává do jámy nebo na zem pod pec za vzniku prachu a kouře.

Dnes se ocel běžně odpichuje odpichovacím systémem u dna s minimem strusky přenesené na pánev.

7.6.7 Manipulace se struskou

Vedle odpichu strusky se tvoří další prach a kouřové odparý během jejího shrabování a protože bývá ještě horká, používá se hrabel, či bagrů. Mimo prostor pecní haly může pak

docházet k chlazení strusky ostříkovaním vodou, ještě předtím, než se drtí a prosévá, aby se umožnilo rekuperovat kov.

7.7 Řízení při výrobě v elektrických obloukových pecích

Řízení technologického procesu a výroby oceli v elektrických obloukových pecích zahrnuje následující oblasti:

1. řízení energetického režimu

Základním úkolem je plné využití instalovaného výkonu pecního transformátoru elektrické obloukové pece. Během jednoho pracovního cyklu (tavby) je pecní transformátor plně zatížen po dobu tavení základní vsázky. Při oxidační a redukční periodě je značně odlehčen a při odpichu není zatížen vůbec. V počátečním údobí tavby, kdy oblouky pod elektrodami jsou přikryty vsázkou, je možno transformátor přetěžovat s cílem zkrácení doby natavování. Přetěžování transformátoru musí být plynule kontrolováno např. měřením teploty vinutí pecního transformátoru. Pec zpracovává studenou vsázku. Spotřeba el. Energie na roztavení vsázky je hlavním ukazatelem charakterizující tavicí chod. Optimálního stavu se nedosáhne minimalizací spotřeby el. energie. Kriterium minimalnosti je širší. Zahrnuje spotřebu grafitových elektrod a opotřebenění vyzdívky pece

2. řízení technologického procesu

Citlivým ukazatelem průběhu metalurgického pochodu je aktivita kyslíku v lázni pece. Znalost vzájemných vztahů mezi aktivitou kyslíku a dalšími činiteli charakterizujícími použitou technologii tavení (složení strusky, obsah prvků v lázni atd.) poskytuje podklady pro úpravy metalurgie tavení. Aktivita kyslíku lázně má tyto vazby:

- v období varu je řízena aktivita kyslíku v lázni koncentrací uhlíku a dobou uplynulou od roztavení vsázky
- v období desoxidace lázně hliníku ferosiliciem je řízena aktivita kyslíku v lázni koncentrací křemíku
- v závěru tavby je aktivita kyslíku řízena koncentrací hliníku
- po odpichu je aktivita kyslíku v pánvi závislá na teplotě oceli, koncentraci uhlíku a době setrvání oceli v pánvi.

3. výpočet a optimalizace vsázky

Tato část systému řízení výroby oceli v elektrické obloukové peci se principiálně neliší od obdobné úlohy pro jiný výrobní ocelářský agregát. Musí pouze respektovat specifické podmínky vsázky elektrické obloukové pece. Vzhledem k univerzálnosti obloukové pece jako tavicího agregátu bude také řešení této úlohy závislé na konkrétních výrobních podmínkách.

7.8 Odlévání oceli

7.8.1 Odlévání ingotů

Při odlévání ingotů se tekutá ocel odlévá do odlévacích forem. V závislosti na požadované jakosti povrchu se mohou během odlévání do ingotové formy přidávat odplyňovací činidla (jako NaF). Po vychladnutí se ingoty vyklopí z odlévací formy a přepraví se do válcoven. Následně se ingoty po ohřevu válcují na bramy, předvalky nebo sochory. Na mnoha místech se odlévání ingotů nahradilo plynulým odléváním. Očekává se, že odlévání ingotů bude během času téměř zcela nahrazeno plynulým odléváním, vyjma těch případů, kdy některé výrobky vyžadují pro dosažení potřebné jakosti odlítí do ingotů, jako tomu je při výrobě těžkých vah pro kování.



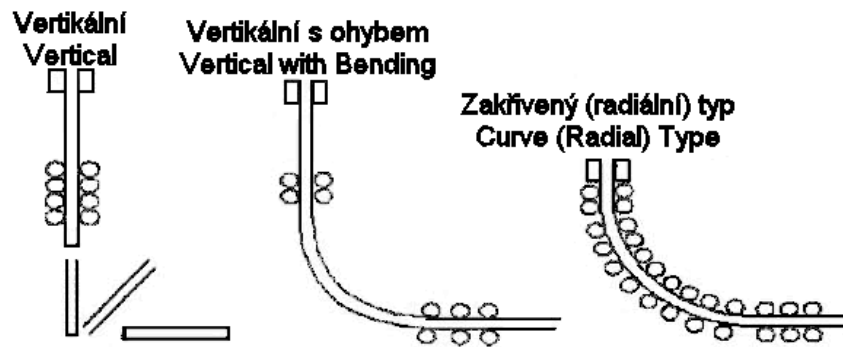
Obr. 46 Odlévání do kokil

7.8.2 Plynulé (kontinuální) odlévání

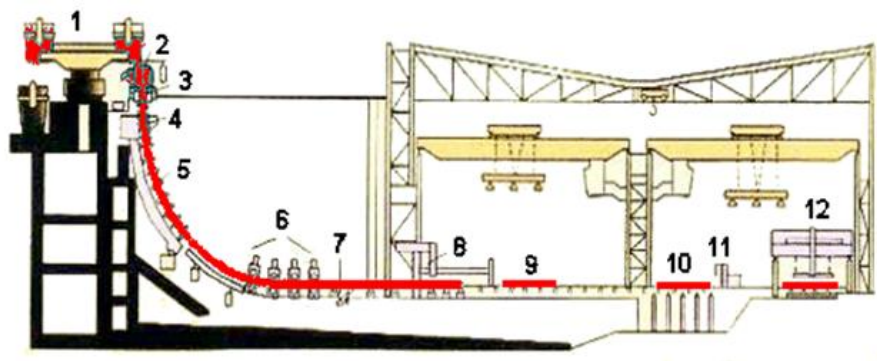
Plynulé odlévání je proces, který umožňuje odlévání jedné, nebo sledu pánví tekuté oceli na plynulý pás pro sochory, bloky, bramy, nosníky nebo páskovinu

Obr. 47 znázorňuje příklady konfigurací strojů pro plynulé odlévání, kde zakřivený radiální typ je dnes jednoznačně nejpoužívanější.

Obr. 48 ukazuje proudění oceli z pánve (1) do mezipánve (2) a vodou chlazené měděné formy (krystalizátoru) (3). Tuhnutí začíná ve formě a kontinuálně pokračuje v sekundární zóně (4) a prochází tažnými válci (5). V některých konfiguracích následuje rovnací prvek (6), dále následuje dělicí zařízení (8), dopravní zařízení (12) dopravuje polotovary do skladu nebo horkou cestou pro konečné válcování.



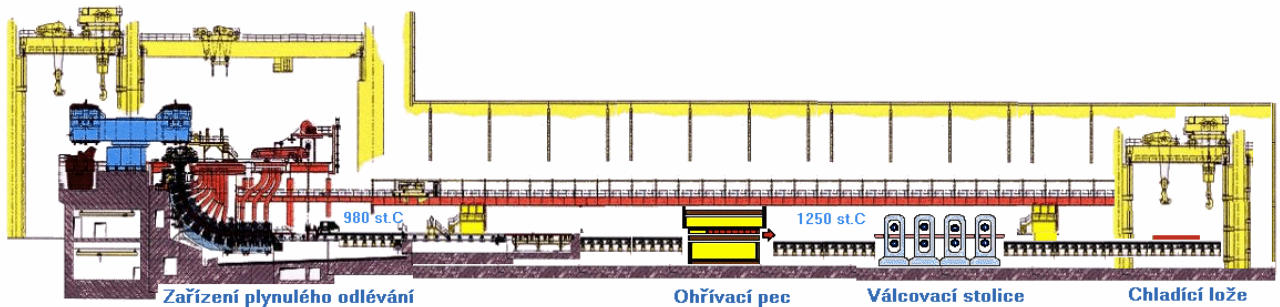
Obr. 47 Typy strojů pro plynulé lití



Obr. 48 Schéma provozu na plynulé odlévání sochorů

1-pánvová revolverová hlavice; 2-mezipánev; 3-krystalizátor (forma); 4-sekundární chlazení (primární sekce); 5-tažné zařízení+sekundární chlazení; 6-rovnací zařízení; 7-odpojení zaváděcí zátky; 8-dělicí zařízení; 9-dopravní zařízení; 10-příčný dopravník; 11-značkovací zařízení; 12-skladovací zařízení

Obr. 49 ukazuje schéma závodu plynulého odlévání s ohřívací pecí a válcovnou s teplou vsázkou.



Obr. 49: Schéma závodu plynulého odlévání s napojením válcovnu

Plynulé odlévání nabízí několik významných přínosů:

- úspory energie, nižší emise a menší potřeba vody následkem eliminace válcování bram a sochorových tratí,
- zlepšené pracovní podmínky,
- vysoké podíly výtěžnosti větší než 95 %,
- vysokou produktivitu.

Přestože plynulé odlévání bylo poprvé zavedeno v průmyslovém měřítku v pozdních 60. letech, jeho podíl v celkové výrobě oceli EU stoupl na cca 95,4 %. V celém světě se nyní z celkové vyrobené oceli 75 % odlévá plynulým procesem. Nehledě na tradiční proces

odlívání do ingotů, nahradily stroje pro plynulé odlívání pochody odlívání předvalků, bram a operace s polotovary v konvenčních závodech teplého válcování. Dnes může být většina všech jakostí oceli pro válcované výrobky provedena cestou plynulého odlívání, protože nutné předúpravy podmínek, jako je odkysličení a odplynění se uskutečňují moderní sekundární metalurgií.

Existují rozličné typy strojů na kontinuální odlívání, označované jako vertikální typ, ohýbací a rovnací typy, obloukový typ a stroje typu oválného pronutí a to v závislosti na jejich uspořádání.

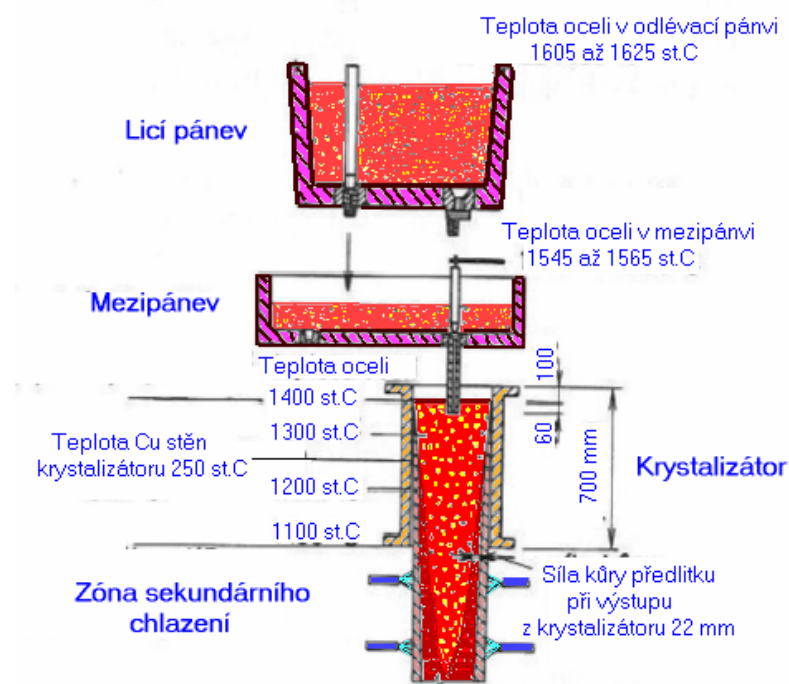
Technologie

Tekutá ocel se odlije z konvertoru do pánve, kterou se ocel přepraví za sekundární metalurgií do tzv. mezipánve stroje pro kontinuální odlívání. To je střední pánev s regulovatelnou výpustí. Před tím, než se pánve plní tekutou ocelí, předehřejí se, aby se zamezilo nerovnoměrnosti teplot v mezipánvi.

Jakmile má tekutá ocel požadovanou teplotu, vylije se do mezipánve (viz Obr. 50). Odtud prochází do krátké vodou chlazené měděné formy, ve které není žádný vzduch a která se kývá nahoru a dolů, aby se zamezilo uváznutí (přilnutí) oceli.

Forma poskytuje požadovaný profil kovu. Když kov opouští lící formu, vytváří se "slupka" ztuhlé oceli a velké množství unášecích válců vede odlitou ocel mírným obloukem ve směru horizontální polohy.

Zde se nekonečný ocelový pás rozřezává na kusy řezacím hořákem. Tímto způsobem se odlévají jak bramy, tak předvalky a sochory.



Obr. 50 Technologický uzel licí pánve- mezipánve- krystalizátor

V případě nesamonosných úseků se do ruda rozžhavený pás se zónou svého ztuhlého povrchu pohybuje prostřednictvím několika párů hnacích válců, které slouží jako jeho opora proti ferostatickému tlaku. Protože je jádro stále tekuté, ostříkuje se pás pečlivě vodou a ochlazuje se až zcela ztuhne (sekundární chlazení). Tento proces zabraňuje prasklinám v oblasti povrchu pásu, který je ještě dosti tenký, ale také chrání válce před přehřátím.

Podpůrnými, transportními a hnacími prvky jsou obvykle válce vybavené vnitřním i vnějším chlazením. V zóně sekundárního chlazení lze vnitřní chlazení válce postrádat, jakmile se zajistí dostatečné snížení teploty skrápěním vodou. Většina ložisek je spojena se systémem automatického mazání.

Když je pás zcela ztuhlý, může se řezat na velikosti podle tříd řezacími hořáky, které se pohybují s pásem, nebo pomocí strojních nůžek.

Proces rychlého chlazení poskytuje ocel o stejnoměrné mikrostruktúře tuhnutí s příznivými technologickými vlastnostmi. Mikrostruktúra tuhnutí pásu může být ovlivněna sou proudým chlazením vzduchem nebo vodou.

Profil pásu je určen geometrií formy. Současné typy forem mají tvar obdélníku, čtverce, kruhu nebo polygonálních tvarovek. Pro výrobu ocelových profilů lze použít forem, které se podobají přibližnému průřezu tvaru předpokládaného produktu.

Typické rozměry pásu při plynulém odlévání se pohybují mezi 80 x 80 mm a okolo 310 x 310 mm, kruhový 500 mm u sochorů a 450 x 650 mm u soustav předválek, zatímco při odlévání bram se formují velikosti až do 350 mm tloušťky a až do 2 720 mm šířky,

Odlévací stroje na sochory mohou vést několik (současně až 8) pásů zároveň, zatímco počet pásů u odlévání bram se omezuje na dva.

7.9 Řídicí systém procesu plynulého odlévání oceli

Měřicí zařízení:

1. měření teploty oceli v mezipánvi
2. měření teploty bramy v průběhu lití
3. měření výšky hladiny v mezipánvi
4. měření výšky hladiny v krystalizátoru
5. měření teploty chladicí vody v primárním a sekundárním okruhu
6. měření rychlosti vytahování bramy
7. měření délky bramy

Regulační a ovládací zařízení

1. Zařízení pro plynulý rozběh mechanismu na zadanou rychlost
2. Regulace rychlosti mechanismu při změně rychlosti lití
3. Regulace výšky hladiny kovu v mezipánvi na zadanou hodnotu
4. Regulace výšky hladiny kovu v krystalizátoru na zadanou hodnotu se vztahem na rychlost tažení bramy
5. Primární dělení bramy dle zadání operátora
6. Ovládání přívodu vody do chladících zón

Vážení

1. Vážení oceli v mezipánvi
2. Vážení bramy za pálicím strojem
3. Vážení bram v úpravně

Řídicí počítač - řídicí počítač pro jednotlivé proudy vlastního agregátu ZPO s úkoly:

- řízení rychlosti tažení kontislitku
- řízení optimálního chlazení kontislitku
- řízení bezzbytkového dělení kontislitku

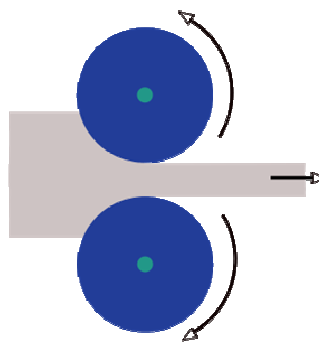
Z hlediska operativního řízení

- sledování a příprava mezipánví
- sladění výroby mezi kontislitkem a úpravnou
- sledování a značení kontislitků

8. VÁLCOVNY

8.1 Technologické procesy válcovny

Principem je deformace polotovaru (např. bramy, sochoru, ingotu, což je pro logický model nepodstatné) pomocí tlaku dvou pracovních válců.



Obr. 51 Schematické znázornění průběhu válcování

Válcování se dá dělit na válcování za tepla (vhodné jako pokračování kontinuálního lití nebo pro veliké změny průřezu) a za studena (vhodné spíše na konečnou úpravu). Liší se v působení na vnitřní strukturu válcovaného polotovaru.

Válcování za tepla se válcuje materiál při teplotách, kdy je kov ještě není tekutý, ale díky podstatnému snížení deformačního tlaku velice tvrný.

Při válcování za studena se tlakem zrna materiálu protahují a tím se daný materiál vytvrdí, ovšem při přílišném vytvrzení je třeba před navazujícím válcováním kov takzvaně regenerovat, to znamená, že se zahřeje na vysokou teplotu a poté nechá vychladnout. Což může, při opakované regeneraci materiálu, znamenat vysokou finanční zátěž.

Teplota - teplé, studené

Konstrukce - podle počtu válců

- 2 válcové
- 3 válcové
- mnoho a univerzální

Podle materiálu

- kolejnicové
- hrubé tratě
- střední
- těžké tratě
- sochorové tratě

Tyčová ocel - do 70 mm šířky

Pás - do 500 mm až 800mm (široký pás)

Tlusté plechy - od 3mm

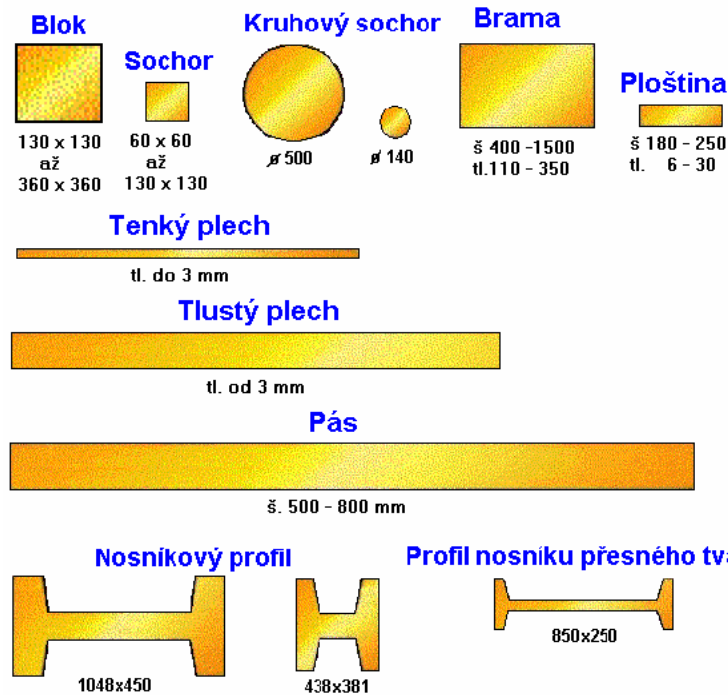
Tenké plechy - do 3mm

Sochor - materiál čtvercového průřezu, strana 60-130mm

Blok - materiál čtvercového průřezu, strana od 130-360mm

Brama (vstupní materiál) - obdelníkový průřez, šířka 400-1500 mm, tloušťka 110-350mm

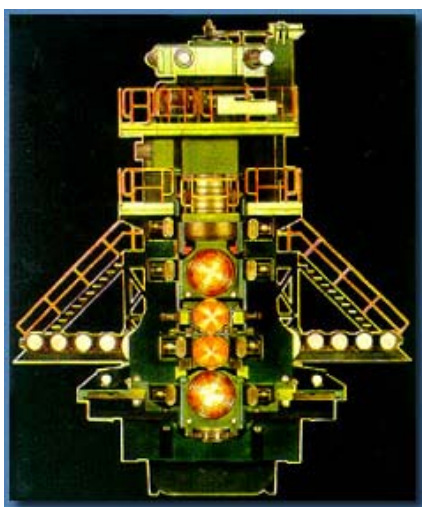
Ploština (vstupní materiál) - obdelníkový průřez, šířka 180-250mm, tloušťka 6-30mm



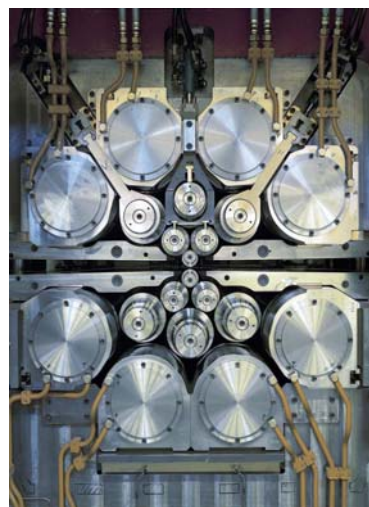
Obr. 52 Označení základních produktů

8.2 Postup válcování

Postup samotného válcování za tepla a za studena se příliš neliší, s výjimkou odpadajících počátečních úkonů spojených se zahříváním materiálu u válcování za studena. Další popis bude pro válcování za tepla.



Obr. 53 Boční pohled na kvarto stolici



Obr. 54 Víceválcová stolice

Úseky válcovny

- úsek ohřevu
- úsek válcování
- úsek výstupní

8.2.1 Ohřev materiálu – ohřívací pec

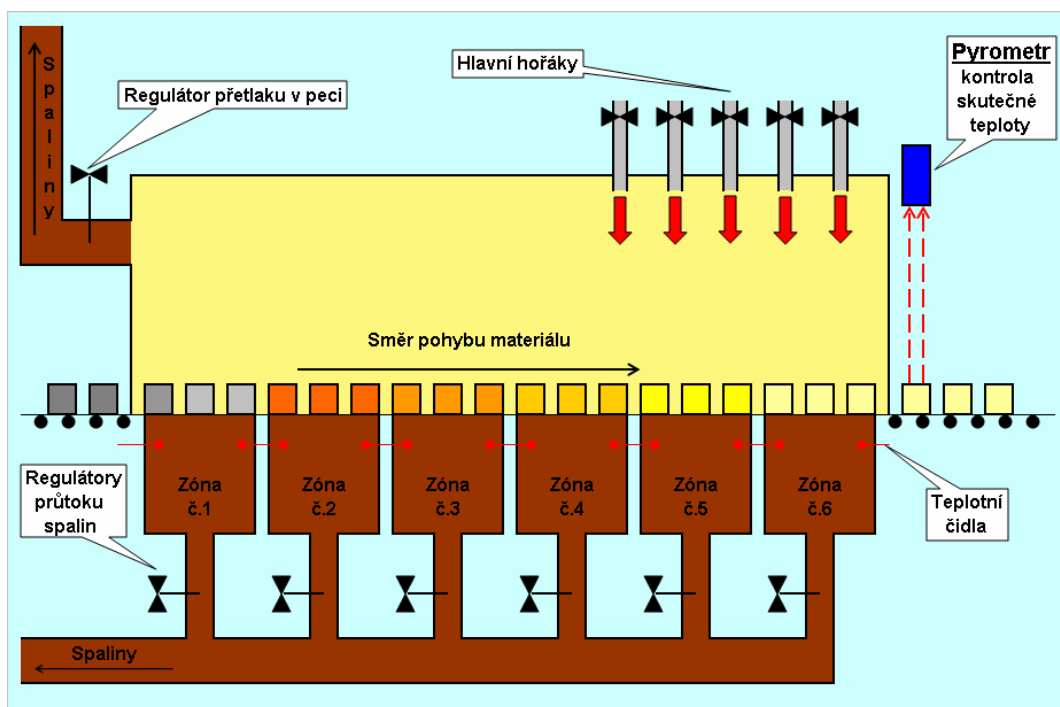
Úsek ohřevu - jedná se o řízení spojitých procesů,
- různé pece,
- docílení teploty na povrchu stejné jako uvnitř materiálu.

Typy pecí:
- narážecí pec,
- karuselová pec,
- kroková pec.



Obr. 55 Ohřívací pec

Ohřívací pec je zařízení, kde podle pevně zadaných hodnot dochází k ohřevu hutního materiálu. Výsledným produktem pece je válcovací teplota daného materiálu. V našem případě se teplota pohybuje od 1050 °C do 1150 °C v závislosti na jakosti materiálu a způsobu dalšího průběhu zpracování (počet úběrových stolic). K ohřevu se vesměs používá směsný plyn (pokud válcovna je součástí hutního závodu), který má k dispozici. Směsný plyn je tedy složením v určitém poměru z koksárenského, vysokopecního, konvertorového plynu. Pokud výhřevnost plynu není dostačující, přidává se do spalovacího procesu také zemní plyn. Celá pec je rozdělena do několika regulačních smyček, které jsou propojeny na řídicí počítač pece.



Obr. 50 Schéma průřezu ohřivací peci

8.2.2 Řízení teploty a spalovacího poměru

Celá ohřivací pec je rozdělena do několika zón. Ohříváný materiál postupuje průběžně těmito zónami proti proudu spalovacího vzduchu a v každé zóně se provádí regulace teploty podle pevně zadaných hodnot (řízený ohřev). To se děje kontinuálním nastavováním průtoku spalovacího vzduchu a průtoku spalin. V každé z těchto zón jsou umístěny dva snímače teploty (např. termočlánky typu „S“ Pt/Pt-Rh). V případě špatné funkce jednoho termočlánku systém automaticky přepne řízení dle hodnoty funkčního termočlánku. Teplota je snímána kontinuálně a na základě jejich hodnot regulační obvod zóny reguluje množství spalin procházející danou zónou. Regulace se provádí škrtkicí klapkou na výstupu spalin a měření množství těchto spalin se provádí pomocí měřicí clony (snímač průtoku a tlaku). V případě nedostatečného ohřevu materiálu v dané zóně regulátor přenastaví spalovací poměr mezi spalovacím vzduchem a palivem.

8.2.3 Řízení tlaku v peci

Funkce této regulační smyčky spočívá v řízení tlaku uvnitř pece, podle nastavené hodnoty. Tato procedura se realizuje průběžným seřizováním (nastavováním) polohy spalínového ventilu. Tlak v peci se udržuje regulátorem tlaku, jehož výstup ovlivňuje servomotor spalínového ventilu. Hodnota tlaku v peci se zjišťuje čidlem tlaku a je indikována a registrována systémem. V případě, že se tlak v peci zvyšuje v porovnání s hodnotou nastavenou na regulátoru tlaku, jeho výstup zmenšuje otevření spalínového ventilu a naopak.

8.2.4 Řízení tlaku spalovacího vzduchu

Funkce této regulační smyčky spočívá v řízení tlaku spalovacího vzduchu ke kolektoru podle nastavené hodnoty. Toto se děje průběžným seřizováním (nastavováním) počtu otáček ventilátoru spalovacího vzduchu. Měření počtu otáček se provádí snímačem rychlosti otáčivého pohybu (otáčkoměr). Tlak spalovacího vzduchu, měřený v barelu tlakovým snímačem, je indikován a registrován systémem.

8.2.5 Teplota spalovacího vzduchu

Funkce této regulační smyčky spočívá v řízení teploty spalovacího vzduchu ke kolektoru podle nastavené hodnoty. Toto se děje průběžným seřizováním (nastavováním) polohy odvodušovacího ventilu teplého vzduchu. Teplota spalovacího vzduchu vystupujícího z rekuperátoru je řízena snímačem tepla (např. termočlánek typu „K“ Cr Al). V případě, že teplota spalovacího vzduchu vystupujícího z rekuperátoru dosahuje nebo překračuje nastavenou hodnotu, jeho výstup se otevře a umožní seřízení výfukového ventilu teplého vzduchu, ovládaného servomotorem. V případě, že teplota teplého vzduchu nedosáhne ani nepřevyšší nastavenou hodnotu (hodnota nastavená na regulačním zařízení), zůstává výfukový ventil teplého vzduchu zavřený.

8.2.6 Řízení teploty spalin na vstupu do rekuperátoru

Funkce této regulační smyčky je chránit rekuperátor řízením teploty spalin vstupujících do rekuperátoru, podle nastavené hodnoty. To se děje průběžným nastavováním polohy ventilu pro ředění/zchlazování spalin. V případě, že teplota spalin vstupujících do rekuperátoru, regulována vhodným termočlánekem např. typu „K“ Cr Al, dosáhne nebo překročí hodnotu nastavenou na regulátoru, jeho výstup otevře ventil pro ředění spalin vzduchem, řízený servomotorem.

8.2.7 Okruh paliva

Tato regulační smyčka nám indikuje stav a polohu ventilu jednotlivých potrubí, která dodávají palivo hlavním hořákům pece. Sběrné potrubí (kolektor) paliva, které dodává palivo k hlavním hořákům pece je vybaveno:

- snímačem minimálního a maximálního tlaku
- měřící clonou, která indikuje a postupně načítá celkové množství paliva
- termistorem, jenž teplotně kompenzuje hodnotu množství paliva
- snímačem tlaku, jehož hodnota tlakově kompenzuje hodnotu množství paliva

8.2.8 Okruh chladící vody (nepřímá chladící voda)

Zařízení chladící vody je vybaveno pro různé okruhy pece. Na tomto okruhu snímače mají za úkol měření průtoku a teploty vody v daných okruzích. Měření teploty provádíme např. termistorem typu PT 100. Jelikož pro každý okruh, vztahující se k valníkům a vytahovacímu zařízení, se předpokládá regulace množství chladící vody prováděná měřičem průtoku s výstrahou minimálního průtoku.

8.2.9 Kontrolní zařízení

Po ukončení ohřevu je hutní materiál připraven k dalšímu zpracování. Než opustí bezprostřední okolí za výstupem z pece, je hutnímu materiálu důkladně změřena jeho teplota. K měření se zpravidla používají pyrometry (bezkontaktní spektrální měřiče tepla), které fungují jako zpětná vazba pro žádanou teplotu ohřivaného materiálu. Pokud skutečná teplota je nižší než žádaná, řídicí systém reguluje zvýšením výkonu pece a naopak.

Souhrn k ohřívací peci

Celý řídicí systém pro svou komplexní činnost vyhodnocuje mnoho dalších veličin a stavů. Jsou to hlavně informace, které spadají do oblasti bezpečnosti a oblasti pohybu materiálu. Nemají bezprostřední vliv na technický proces, ale jsou nedílnou součástí celku.

V oblasti bezpečnosti jsou to hlavně senzory od napájení servopohonů, motorů, senzory hlídající vnější teplotu pece až po různá blokovací čidla. V oblasti pohybu materiálu řídicí systém dostává informace o bezkolizním pohybu materiálu. K tomu účelu nám slouží snímače pohybu, např. fotonky. Před vstupem hutního materiálu do ohřívací pece řídicí

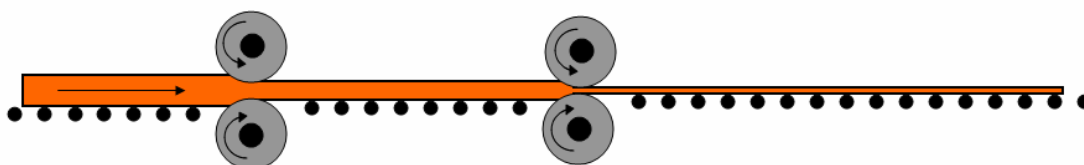
počítač získává informaci o hmotnosti a jakosti materiálu a na základě těchto údajů opět koriguje chod pece. Při menším hmotnostním objemu vsázky se snižuje automaticky výkon pece a naopak. Řídicí počítač má také za úkol hlídat omezující podmínky chodu pece jako je maximální výkon pece, nebezpečná přehřátí pohonů, měničů, nebezpečné koncentrace plynů apod. Tyto informace o stavech důležitých zařízení řídicí počítač shromažďuje pro další zpracování.

8.2.10 Termobox – termochemické chlazení

Před vstupem hutního materiálu do prvního předhotovostního válce prochází materiál termoboxem nebo termochemickým řízeným chlazením. Dopravu nám zabezpečuje řada válečkových dopravníků. Zde jsou umístěny fotonky, které nám indikují polohu materiálu, ve kterém místě se momentálně materiál nachází. Řídicí systém válcovny reguluje rychlost pohybu dle potřeby. Pokud se válcování z různých technických příčin zbrzdí, materiál se zastaví v termoboxu. Termobox nám slouží k zamezení ochlazování čekajícího materiálu na válcování. I zde se teplota materiálu průběžně snímá a předává řídicímu systému. K měření teploty se používají pyrometry. Pro správnou funkci pyrometrů se před snímače zařazuje ostřík tlakovou vodou, která nám z povrchu materiálu odstraňuje okuje. Pokud teplota hutního materiálu klesne pod stanovenou mez, řídicí počítač zakáže další zpracování a tento materiál se vyřazuje z pracovního cyklu. Některé jakosti vyžadují pro správnou finální mikrostrukturu termochemické ochlazování. Je to proces, při kterém se řadou vodních tlakových trysek snižuje teplota. Množství vody a dobu chlazení řídicí systém reguluje na základě snímačů teploty pomocí pyrometrů.

8.3 Technologický proces – válcování

Válcování se provádí řadou za sebou jdoucích stolic. Od předhotovostních až po hotovostní (finální) stolice. Zde má řídicí počítač válcování hlavní úlohu řídit rychlost otáček stolic. Regulace se provádí pomocí tyristorových měničů, které napájí hlavní pohony (motory stolic). Chlazení válců se provádí chladicí vodou, zde počítač reguluje průtok a tlak této vody za pomoci snímačů teplot a tlaků na výstupu.



Obr. 51 Proces válcování

8.3.1 Předhotovostní stolice

Řízení žádaných otáček válců předhotovostních pořadí je společná pro všechny stolice předhotovostního pořadí a zároveň pro válečkový dopravník za těmito stolicemi a je základ pro další automatické řízení rychlosti otáček. V případě řízení otáček samotných stolic je toto automatické řízení vybaveno beztlakovou regulací otáček.

Řídicí systém, který ovládá řízení otáček stolic, je navržen pro řízení v kaskádě, jejíž směr je proti směru válcování. To znamená, že veškeré změny v rychlosti otáček příslušné stolice se přenášejí na pohony všech stolic, které jsou před touto stolicí. Tímto způsobem je zabezpečeno, že vývalek, procházející předcházející stolicí, bude sledovat změny v otáčkách stolice následující. Výchozí hodnotou otáček je brána hodnota otáček výběhové stolice

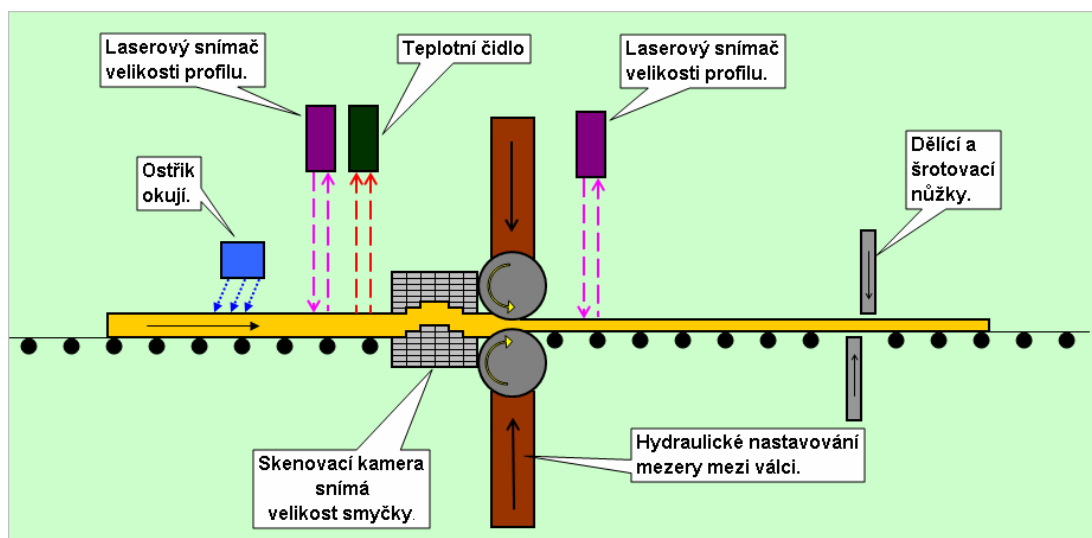
(poslední). Tento systém regulace (integrální typ řízení) spočívá na základě analýzy výkonu, který je dodáván motorem příslušné stolice v okamžiku přítomnosti materiálu. Na operátorské stanici je možnost nastavení procentuální hodnoty tahu válcovaného materiálu mezi dvěma sousedními stolicemi (tato hodnota je vyjádřením výkonu motoru, který je dodáván stolicí). V okamžiku, kdy materiál vstoupí do odpovídající stolice, dojde k záznamu odebíraného proudu motoru stolice do paměti. Tato hodnota vytváří žádanou hodnotu pro samotnou regulaci. Po vstupu materiálu do následující stolice začne být regulace aktivní, kde jako regulační odchylka slouží rozdíl mezi žádanou hodnotou a hodnotou, která odpovídá velikosti skutečného odebíraného proudu. Následné řízení otáček má tento rozdíl minimalizovat. Tento systém regulace je integrálního typu, to znamená, že naměřené hodnoty jsou uchovávány v paměti a po příchodu nového válcovaného materiálu jsou nově přečtené hodnoty použity pro opravu údajů v paměti. Toto se děje při průchodu každého válcovaného materiálu.

Před vstupem válcovaného materiálu do první stolice je zařazen ostřík okují. Zde má řídicí systém úlohu kontroly. Snímače zde poskytují počítači hodnoty o tlaku a množství stříkající tlakové vody na povrch válcovaného materiálu. V případě kolize počítač zastavuje další pohyb materiálu do válců. Zamezuje se tím vyrobení zmetku z důvodu zaválcování velkého množství okují do povrchu materiálu.

Za předhotovostními stolicemi jsou umístěny nůžky. Tyto nůžky mají tři funkce. Za normálního provozu slouží k odstříhu začátku materiálu. Řídicí systém ovládá tyto nůžky na základě vyhodnocování pohybu materiálu v daném úseku pomocí snímačů pohybu (fotonek). Druhou funkcí je dělení válcovaného materiálu. Řídicí systém předčasně vypočítá konečnou délku vyválcovaného materiálu po průchodu poslední stolicí a provede dělení konce materiálu. Zamezuje se tím vzniku velkého množství šrotu z nepoužitelných délek konců. Třetí funkcí nůžek je šrotování. V případě jakékoliv kolize při válcování za těmito nůžkami počítač přepíná funkci nůžek z odstříhu a dělení do šrotování. Důvodem je zamezení zamrznutí válcovaného materiálu v předhotovostních válcích a tím se zamezí velký prostoj na odstraňování tohoto materiálu z válců.

8.3.2 Hotovostní stolice

Hotovostní stolice dává válcovanému materiálu finální požadovanou velikost. Například hotovostní stolice ASC (automatic size control) se vyznačují hydraulickým nastavením mezery mezi válci. Tím mohou být dosaženy velmi dobré tolerance velikosti v konečném stavu válcovaného materiálu. Tato válcovací stolice je vybavena dvěma laserovými snímači velikosti profilu vývalků. Jeden z nich je umístěn před stolicí a druhý za stolicí. Úkolem těchto laserových snímačů je počítači dávat informace s maximální přesností o velikosti (tloušťce) vstupujícího a vystupujícího materiálu během válcování. Pomocí laserového snímače, umístěného před stolicí, řídicí počítač reguluje (kalibruje) mezeru mezi válci. Tímto způsobem může počítač dobře korigovat nerovnosti materiálu před vstupem do válců. Laserový snímač, umístěný za stolicí, předává řídicímu počítači skutečný rozměr po válcování a tedy funguje jako zpětná vazba pro jemnou deregulaci mezery mezi válci. Tato regulace může být prováděna za předpokladu extrémně rychlého hydraulického nastavení mezery válců.



Obr. 52 Umístění čidel na válcovací stolicí

Ke kontrole tohoto způsobu řízení válcování nám slouží další senzory jako jsou senzor momentální polohy válců, údaje o válcovací síle (tlaku) apod. Na korekci mezery válců má také vliv čidlo teploty (pyrometr), který je umístěn před stolicí. Řídicí počítač na základě naměřené velikosti teploty materiálu provede doregulaci přítlačné síly (tlaku) válcování.

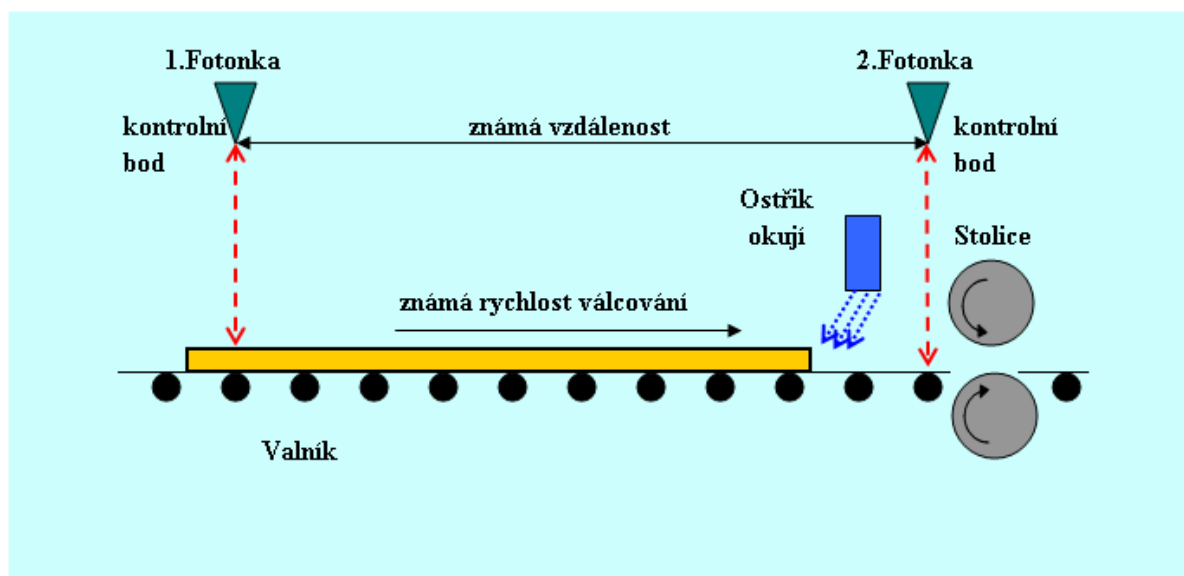
Dalším specifickým snímačem před stolicí je skenovací kamera. Ta má za úkol hlídat tzv. předválcovací smyčku. Před vstupem materiálu do válce se na konci dopravníku nadzvedne pomocí hydraulického pístu poslední váleček a tím vznikne zmiňovaná smyčka. Smyčka se provádí z důvodu tahové regulace válců, aby nedošlo k nebezpečnému natáhnutí nebo přetrhnutí válcovacího materiálu. V průběhu válcování zmiňovaná skenovací kamera předává informaci o prohybu válcovaného materiálu řídicímu počítači a ten, na základě regulace otáček válců, udržuje přiměřenou velikost této smyčky.

Jednou z výhod takto řízených válců je jejich delší životnost (opotřebování válců se zpětnovazebně koriguje). Řídicí systém také s předstihem informuje o blížícím se totálním opotřebování těchto válců.

8.3.3 Sledování toku materiálu

Spojité řízení

Tato funkce je určena specificky právě pro spojitě tratě a jejich cílem je automatická indikace možných výmětů, které mohou vzniknout při nápichu válcovacího materiálu do různých válcovacích zařízení. Pro tento účel se používají signály fotonek, snímačů smyček a zatížení stolic. Z těchto signálů je určeno, zda materiál v průběhu válcování dosáhl určených „kontrolních bodů“. To znamená, že pokud je známa válcovací rychlost materiálu a vzdálenost těchto „kontrolních bodů“ (viz Obr. 53), lze řídicímu systému vypočítat dobu, za kterou má projít materiál z jednoho „kontrolního bodu“, k následujícímu, přičemž k tomuto času je připočítána jistá tolerance a tím se zabraňuje vzniku hazardních stavů.



Obr. 53 Princip kontrolních bodů

8.3.4 Výběhový úsek

Chladník

Jak už je patrné z názvu, chladník nám slouží k ochlazení hotového výrobku. Chlazení probíhá volně na vzduchu nebo řízeně pomocí chladicí vody. Řídicí systém zde kontroluje stav zaplnění tohoto chladníku, aby nedošlo k jeho přeplnění a zastavení celé válcovací tratě. Informace o stavu zaplnění chladníku si počítač hlídá na základě přísunu – odsunu množství vyválcovaného materiálu. Toto množství porovnává s nastavenou kapacitou chladníku. Na řídicí počítač jsou samozřejmě napojeny veškeré pohony, koncové spínače, překlápěče chladníku.

Kontrolní a rovnací zařízení

Tyto zařízení už přímo nezasahují do celého řízení tratě, ale jsou taky součástí komplexu válcovny. Pro zjišťování podélných vad se využívá kruhového magnetického toku se dvěma rotujícími jhy. Spolurotující snímače magnetického pole zjišťují rozptylové toky vystupující nad povrchovými vadami. Pro zjišťování příčných vad jsou magnetické toky vytvářeny dvěma stacionárními cívkami uspořádanými za sebou v podélném směru. Několik snímačů magnetického pole umístěných po obvodu zjišťuje rozptylové toky vystupující nad povrchovými vadami. Vývalek průběžně prochází zornými poli těchto snímačů a při výskytu vady počítač označí automatickým nástřikem barvy vadnou oblast. Takto označený vývalek vyřadí počítač z dalšího procesu. Řídicí počítač vyhodnocuje množství těchto vad a předává je k dalšímu zpracování. Nadřazený počítač, na základě těchto informací, dává podnět k odstranění a minimalizování těchto vad do řízení technologických procesů válcovací tratě.

Rovnací zařízení nám slouží ke konečnému dorovnání vývalků a odstranění zbylého vnitřního pnutí způsobeného válcováním. Rovnání se provádí sadou přítlačných válečků. Ke kontrole nám může sloužit laserový snímač přímosti, ale také obyčejný příložný etalon.

Provozně koordinační počítač

Provozně koordinační počítač je vlastně mozkiem celé válcovny. Je propojen se všemi procesními řídicími počítači a počítačem pro sledování toku materiálu. Hlavním úkolem je koordinace všech napojených procesních řídicích počítačů. Povoluje například sázení materiálu do ohřívací pece, povoluje zvyšování rychlosti válcování a naopak řeší veškeré kolize, které nastanou na celé válcovací trati, např. zakazuje další vytahování ohřátého

materiálu z pece, umisťuje materiál do termoboxu, dává povolení ke šrotování apod. Musí umět filtrovat příchod falešných signálů od pokazených senzorů tak, aby výpadek takového čidla neohrozil funkci celého systému. Má za úkol řízení rozběhu a zastavování celé tratě jak v normálním provozu, tak i v havarijních případech.

K vedlejším úkolům provozně koordinačního počítače patří:

- sledování skladu předvalků – zde počítač předává požadavky podnikovému počítači pro přísun polotovarů dle plánu výroby válcovny.
- sledování skladu vývalků – zde počítač sleduje stav zaplnění skladu a předává informace o připravenosti k expedici podnikovému počítači.
- sledování skladu válců – zde počítač po přijetí plánu výroby kontroluje stav připravenosti válců pro daný válcovaný profil.
- sledování skladu náhradních dílů – dle spotřeby optimalizuje skladové zásoby, upozorňuje na možné kolize z nedostatku náhradních dílů apod.
- plánování výroby – zde počítač akceptuje (přijímá) nebo pro nerealizovatelnost zamítá plán výroby.
- řízení údržby – zde počítač dle plánu výroby doporučuje a vypočítává předběžný možný čas k údržbě. Jelikož hodně údržbářských prací se v současnosti provádí stylem dodavatelsko-odběratelských prací, jsou tyto práce směřovány do technologických prostojů, např. přebudování válců na jiný profil.
- výkaznictví – zde řídicí počítač pracuje se všemi ekonomickými aspekty provozu válcovny, např. výkon válcovny, spotřeba energií, spotřeba náhradních dílů apod.
- sledování poruch – snímáním hodnot kritických veličin v místech, kde se poruchy nejčastěji vyskytují a jejich záznam nám v případě poruchy umožňuje zjistit situaci před poruchou, při vzniku poruchy, jakož i průběh poruchy a její ukončení.

Už z těchto základních funkcí je nám jasné, že počítače pracují v režimu on-line. Obsluha zde má v zásadě kontrolní funkci, popřípadě zadává vstupní data pro zpracování, odsouhlasuje, popřípadě přerušuje technologické procesy. Jeho operační rychlost a kapacita musí být na tak vysoké úrovni, aby se zabránilo přehlcování počítače a tím jeho zpomalení, v nejhorším případě jeho zamrznutí [1]. Tomu má napomáhat správné naprogramování, to je přiřazování priorit pro zpracování přicházejících dat. Výpadek elektrické energie napájení takto důležitých počítačů se musí kompenzovat záložními zdroji. Zabraňuje se tím zbytečným ztrátám veškerých neuložených dat.

8.4 Souhrn informačních a řídicích procesů při válcování

ÚSEKY VÁLCOVNY- úsek ohřevu- úsek válcování- úsek výstupní

ÚSEK OHŘEVU

- jedná se o řízení spojitých procesů
- různé pece (narážecí pec - karuselová pec - kroková pec)
- docílení teploty na povrchu stejné jako uvnitř materiálu

Úsek válcování

Předlohová pořadí

1. programové nastavování horizontálních a vertikálních válců
2. řízení rychlosti dopravníků

3. řízení odstraňování okují

Funkce pro řídicí počítač:

1. sledování sochorů
2. výpočet a zadávání nastavení při přechodu pořadí na nový profil
3. Zpětná vazba pro nastavení horizontálních i vertikálních válců
4. Kontrola mezních hodnot zatížení stolic

Hotovní pořadí

1. řízení rychlosti dopravníku mezi pořadím
2. řízení nůžek před hotovním pořadím
3. programové nastavení horizontálních válců a pravítek
4. regulace tahu pásu mezi stolicemi
5. měření válcovacích sil ve stolicích
6. regulace rychlosti
7. řízení odstraňování okují

Funkce pro řídicí počítač:

1. Sledování pásu
2. Výpočet a zadávání nastavení při přechodu pořadí na nový profil pro: - otevření válců - rychlost stolic - tahy mezi stolicemi - měřič tloušťky a šířky za pořadím - otevření pravítek
3. Automatické regulace tloušťky
4. Výpočet teploty na konci válcování
5. Řízení rychlosti válcování za účelem udržení žádané teploty
6. Zpětná vazba pro nastavení na nový profil a regulaci tloušťky pásu
7. Sběr a zpracování dat

Výstupní úsek

1. řízení pohonů
2. regulace polohy přítlačných válečků
3. transport produktů

Funkce pro řídicí počítač

1. sledování produktů
2. řízení teploty chlazení
3. cejchování

Úsek ohřevu

1. Doprava materiálu
2. Programové řízení sázení
3. Dosažení teploty povrch – střed

Funkce pro řídicí počítač

1. přidělování materiálu na přívodních dopravnících a v peci
2. kontrola teploty pecí
3. výpočet a sledování teploty materiálů

9. LITERATURA

BALDA, M. A KOL. *Projektování a provoz ASŘ TP*. Praha: ČVUT, 1983.

BÖHM, Z. *Výroba oceli v tandemových pecích*. Praha: SNTL, 1984.

BÖHM, Z a kol. *Plynulé odlévání oceli*. Praha: SNTL, 1992.

BROŽ, L. A KOL. *Hutnictví železa*. SNTL, Praha 1988.

Integrovaná prevence a omezování znečištění (IPPC). Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách při výrobě železa a oceli. Překlad referenčního dokumentu HS/EIPPCE/I&S BREF-FINAL, MPO ČR a Hutnictví železa, a.s., Praha, 2001

Technický zpravodaj - ZPO č. 1. VTEI 91/93, Ostrava: NH Ostrava, 1993.

Technologický zpravodaj - Technologické modely pro ASŘ ocelárny. VTEI 97/95, Ostrava: NH Ostrava, 1995.

TOMIS, L., HANÁK, V., OCHOZKA, J. *Automatizované systémy řízení technologických procesů*. Ostrava: VŠB Ostrava, 1984.

VROŽINA, M. *Automatizace metalurgických procesů*. Interní materiály přednášek. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 1994.

Fotografie jsou převzaty z internetu z následujících zdrojů:

<http://www.fotoobzor.com/>

<http://www.photoextract.com/>

<http://www.fotoaparát.cz/>

<http://www.fabriky.cz/>