

Hoofdstuk 1

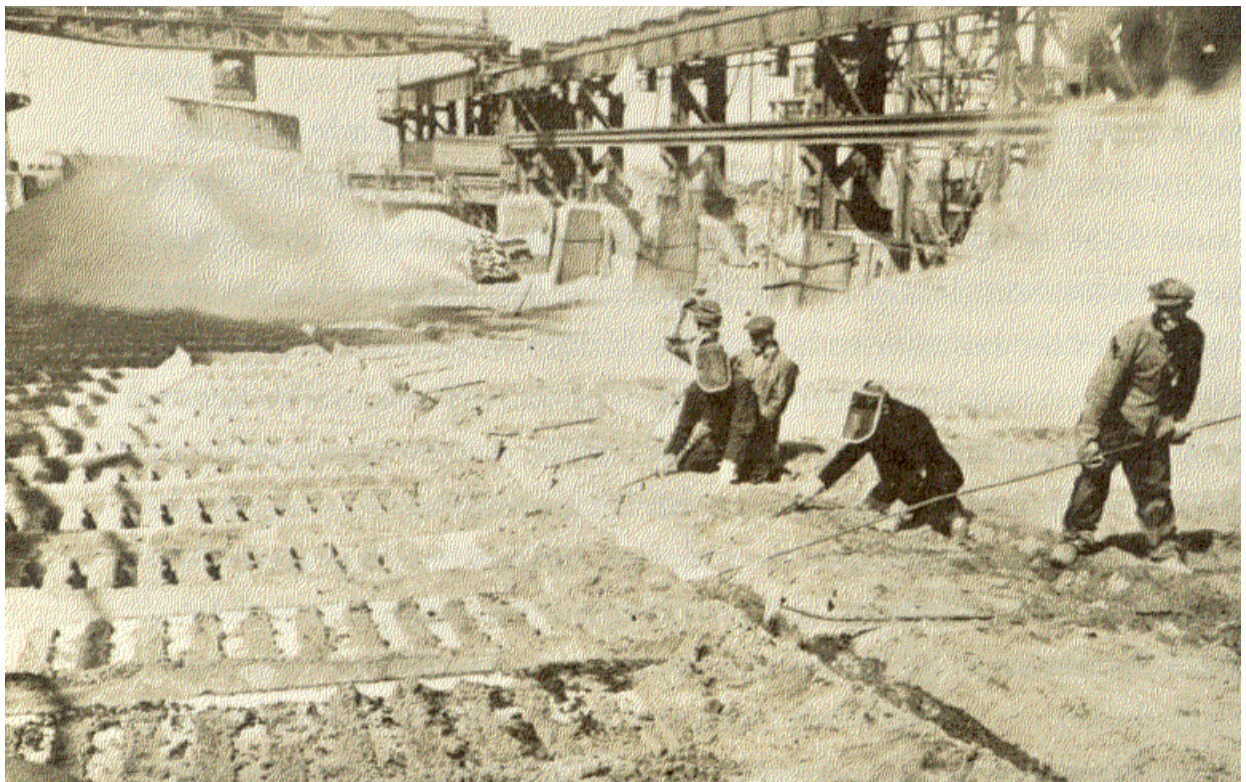
Inleiding in het hoogovenproces.

1.1. Ruwijzer en slak

Met een hoogoven wordt ruwijzer geproduceerd. Vloeibaar ijzer met een koolstofgehalte van zo'n 4,5% en een smeltemperatuur van ca. 1150° C.

Vroeger werd ruwijzer uit de hoogoven getapt en direct gegoten. Dit ruwijzer liet men in een soort "veerachtige" structuur (kammen) stollen (zie foto).

Het vaste ruwijzer leek dan op een zeug met biggetjes. Vandaar de engelse naam "pig iron".



Momenteel wordt ruwijzer vloeibaar in mengers of pannen opgevangen en naar de staalfabriek getransporteerd. Daar wordt het ijzer geraffineerd tot staal: vooral het koolstof, maar ook andere elementen (silicium, mangaan, zwavel, fosfor) worden (grotendeels) uit het ijzer verwijderd om tot de gewenste staalsamenstelling te komen.

Om een goede prestatie van de staalfabriek mogelijk te maken moet het ijzer aan eisen voldoen ten aanzien van siliciumgehalte (0,3 – 0,6%), mangaan (0,3 – 0,7%), fosfor (0,06 – 0,12%) en temperatuur.

In een hoogoven ontstaat zowel ijzer als slak. Deze twee "vloeistoffen" mengen niet en kunnen in het ovenhuis op een eenvoudige manier worden gescheiden. Van de relatie tussen ijzer- en slak kwaliteit is nog lang niet alles bekend.

In dit inleidende hoofdstuk worden de bouw van de hoogoven en de basisprincipes van het productieproces behandeld.

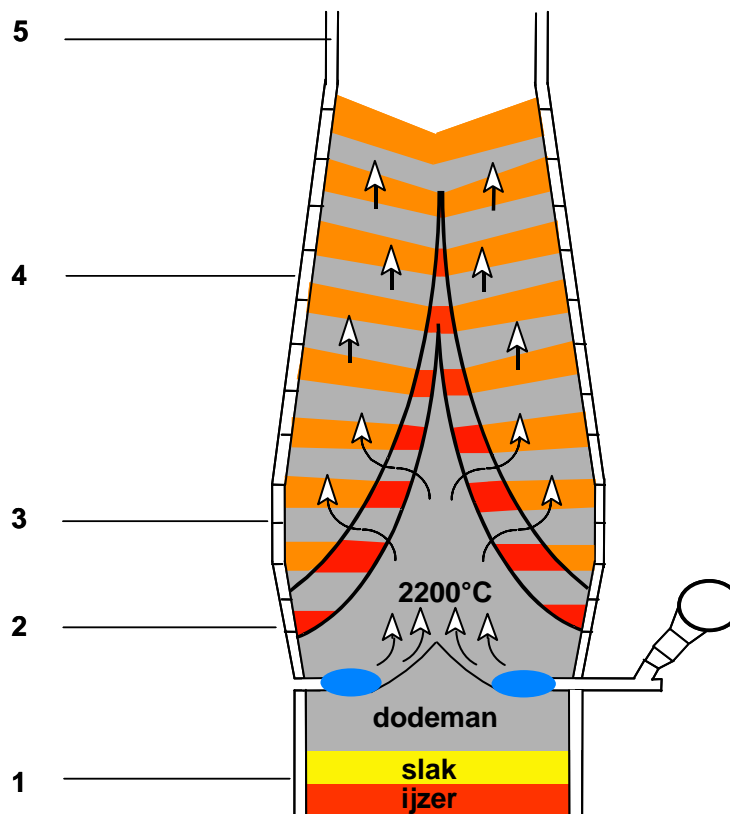
1.2 De hoogoven.

De hoogoven wordt gevormd door een cirkelvormige, verticale schacht. Hij bestaat uit 5 onderdelen. Van beneden naar boven:

1. de haard.
2. daarboven de rust, die een omgekeerde kegelvorm heeft.
3. de kolenzak.
4. de schacht, die van beneden naar boven toeloopt en tenslotte
5. de keel.

Deze onderdelen zijn aangegeven in figuur 1.1.

figuur 1.1



De hoogoven wordt bovenin de keel beladen met agglomeraat (sinter en pellets), stukerts, kooks en toeslagstoffen; tegelijkertijd wordt hete wind door de vormen in de haard geblazen.

Vergassing van de kooks, direct vóór de vormen levert reductiegas en warmte, die door de opstijgende gassen grotendeels wordt overdragen aan de zakkende lading. Deze gassen bevatten zeer veel koolmonoxide (CO) en waterstofgas (H₂), als ze de raceway voor de vormen verlaten. Door het reductiegas worden de ijzeroxides gedeeltelijk gereduceerd d.w.z. het zuurstof van het ijzeroxide wordt overgedragen naar het koolmonoxide en het waterstofgas onder gelijktijdige vorming van kooldioxide (CO₂) en water. Ongeveer 65% van de zuurstof, aanwezig in het erts, wordt verwijderd door het gas; de laatste stap van de reductie van het ijzeroxide vindt plaats in de rust en de haard door direct contact van ijzeroxide met koolstof.

Samenvattend: de hoogoven is een tegenstroomreactor, waarin warmte en zuurstof worden uitgewisseld tussen de lading en het gas. Warmteoverdracht vindt plaats van gas naar de lading en zuurstofoverdracht van de lading naar het gas.

Door de warmte overdracht wordt de lading opgewarmd en afgesmolten en door de zuurstofoverdracht worden de ijzeroxides gereduceerd. De zuurstof van de ijzeroxides verlaat de hoogoven weer via de top als kooldioxide, koolmonoxide of water.

De functies van de andere delen, die in figuur 1.1. zijn aangegeven, kunnen het beste begrepen worden door in gedachten de lading en daarna het gas te volgen, zoals zij door de hoogoven

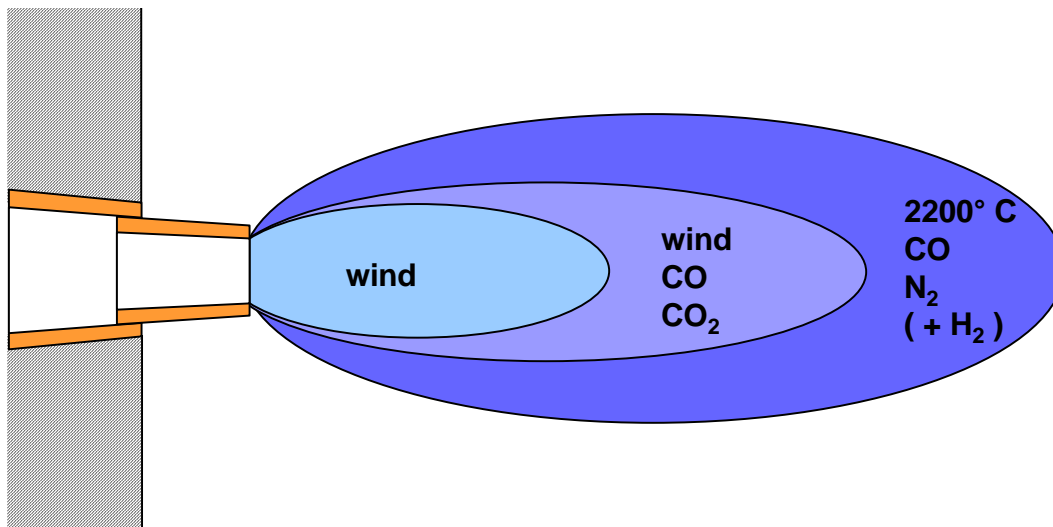
heengaan. De ladingbestanddelen moeten in de juiste verhoudingen afgewogen worden, voordat ze in de oven gebracht worden. Het vullen van de oven gebeurt principieel in aparte lagen voor kooks en ijzerhoudende stoffen.

Voor het beladen van de oven worden twee wagens op de hellende lift gebruikt. Om te voorkomen dat gas naar de buitenlucht ontsnapt, is een sluizensysteem nodig: twee klokken of een topbunker-kleppensysteem. Dit is nodig omdat moderne hoogovens op een hoge topdruk worden bedreven.

De lading daalt, doordat onder in de oven ruimte gemaakt wordt door het vergassen van kooks en het afsmelten van erts. De lading wordt tijdens het dalen gelijktijdig verhit en chemisch gereduceerd. Hierna vindt afsmelten plaats, vloeibaar ijzer en slak druppelen over het kooksskelet naar beneden in de haard, van waaruit ze via het aftapgat worden verwijderd.

De gasstream begint met verhitting van de wind in de windverhitters; de wind komt via de hetewindleiding en de vormen in de hoogoven. Het reductiegas ontstaat door de reactie tussen zuurstof in de hete wind en kooks in de raceway. Deze reactie levert koolmonoxide, waarvan tijdens zijn weg door de lading zo'n 45 - 50% wordt omgezet in kooldioxide. Het gasmengsel dat uit de oven komt bevat voldoende koolmonoxide om nog als brandstof gebruikt te worden, maar dan moeten eerst de stofdeeltjes uit het gas verwijderd worden. Het gas wordt door een stofzak geleid en vervolgens nog nagezuiverd in een natte wasinstallatie.

1.3. Het smelten van de lading.



figuur 1.2 Raceway

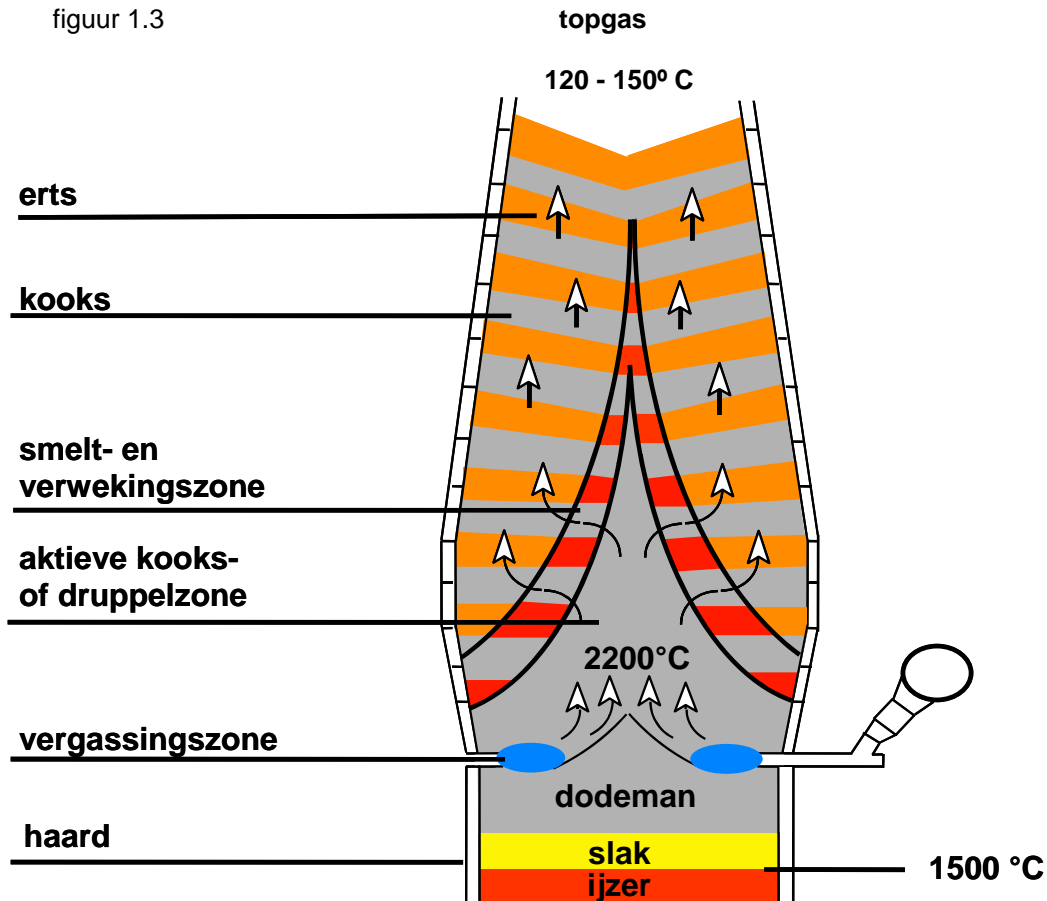
In figuur 1.2 wordt schematisch de vlam vóór de vormen weergegeven. Voor de vormen reageert alle zuurstof uit de wind met koolstof waardoor een zeer hoge temperatuur van rond de 2200° C ontstaat. Dit gas verspreidt zich vanuit de raceway en stijgt op door de lading. Als we de weg van het bij de vormen ontstane gas volgen, komen we verderde zones tegen die schematisch in figuur 1.3 zijn weergegeven.

- **Actieve kooks- of druppelzone;**
deze bevindt zich voor de raceway en strekt zich naar boven uit tot de smelt- en verwekingszone.
Bij temperaturen boven de 1450° C zijn alle ertsen gesmolten en vloeibaar geworden, alleen kooks blijft bij die temperatuur dan nog in vaste vorm aanwezig.
In de druppelzone draagt het gas warmte over aan vloeibaar ijzer en slak, het vloeibaar wordt dus warmer en het gas kouder.
Door de actieve kooks- of druppelzone bewegen druppeltjes vloeibaar ijzer en slak zich naar de haardzone; waar temperaturen van 1500 - 1550° C heersen.
- **Smelt- en verwekingszone;**

zodra het gas afgekoeld is tot een temperatuur van 1450° C bezit het niet meer voldoende warmte om ijzer en slak volledig af te smelten.

Slak en ijzer zijn dan in een taai smeltende toestand. Het vormt schollen materiaal die heel moeilijk gas doorlaten en aan de onderkant langzaam afsmelten. Het erts begint te verweken bij ca. 1100° C en is bij ca. 1450° C volledig afgesmolten. De vorm van de smeltzone is bij een goed lopend proces zoals in figuur 1.3 is aangegeven. Omdat door het hart van de oven meer heet gas wordt gestuurd dan langs de wand, ligt de smeltzone in het hart veel hoger dan aan de wand.

figuur 1.3



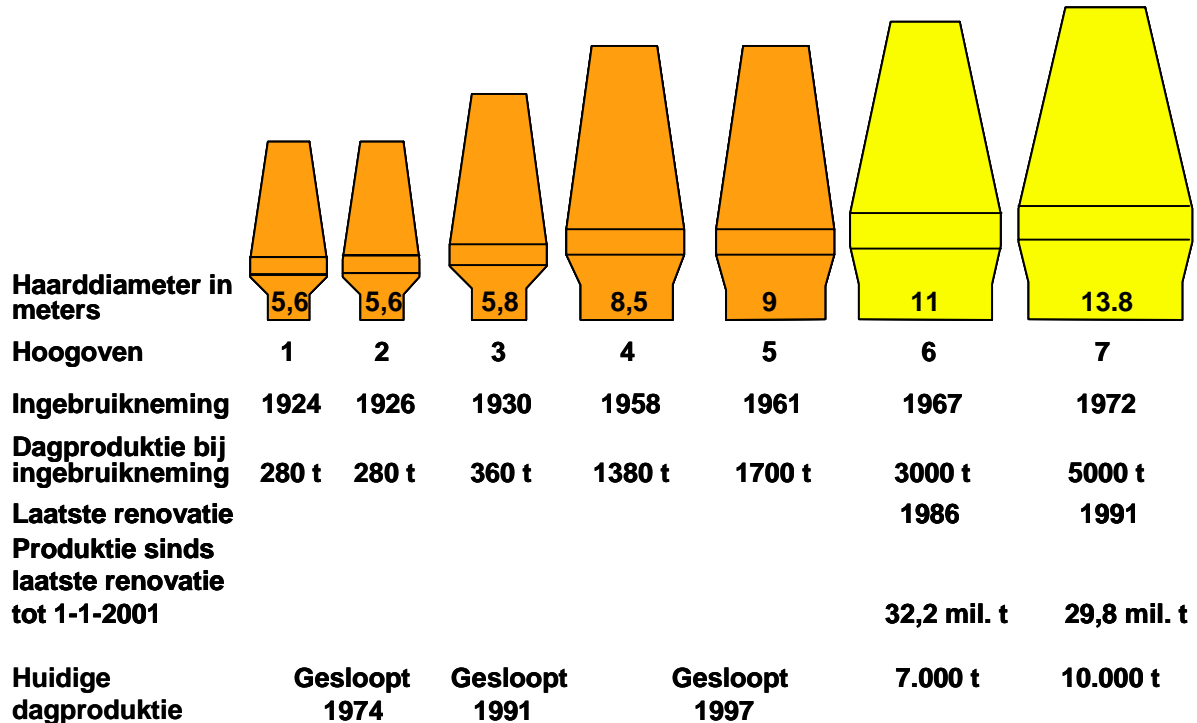
- **Schachtzone;** boven de smeltzone bevindt zich het "droge" deel van de oven, hier wordt de lading vanaf bunkertemperatuur op een temperatuur van uiteindelijk ca. 1100° C gebracht, de temperatuur waarbij een lading begint te verweken.

Verderop in dit boekje, hoofdstuk 4, wordt uitgebreid ingegaan op de chemische reacties die overal in de oven plaatsvinden.

Je kan de chemische reacties ook eenvoudig samenvatten en zeggen dat:

- voor de vormen reageert zuurstof met kooks en kolen tot koolmonoxide, CO. Als het CO-gas verder vergast dan wordt er CO₂-gas (kooldioxide) gevormd. In tegenstelling tot CO-gas is CO₂-gas niet giftig.
- tot en met de bovenkant van de smeltzone wordt er alleen erts gesmolten. Voor zover er in dit erts nog ijzeroxides te vinden zijn, ontleden die door contact met koolstof waardoor ijzer en extra CO-gas gevormd wordt.
- tussen 1100 en 500° C kan het CO-gas door contact met ijzeroxides omgezet worden in CO₂-gas, waarbij een hoeveelheid warmte vrij komt.
- onder de 500° C gebeurt er niets met het ijzererts, de lading wordt alleen gedroogd en opgewarmd.

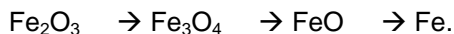
De hoogovens zijn steeds groter geworden. In figuur 1.4 is de historische ontwikkeling van de hoogovens in IJmuiden aangegeven.



1.4. De ijzeroxides.

IJzer vormt drie vaste oxiden; de sterkst geoxideerde vorm is hematiet (Fe_2O_3), dat het belangrijkste bestanddeel is van de meeste ijzerertsen. Het tweede oxide dat ook gewonnen wordt is magnetiet (Fe_3O_4), een combinatie van FeO en Fe_2O_3 . Het derde oxide, wustiet, wordt niet op aarde gevonden, maar is een tussenproduct, zowel bij de reductie van ijzererts als bij de oxidatie van ijzer. Zijn chemische formule wordt uitgedrukt als FeO .

De reductie van hematiet in een hoogoven vindt plaats bij temperaturen boven 500°C in de volgorde



Magnetietertsen zijn vaak erg dicht van structuur. Door deze dichte structuur is magnetiet in de natuur niet geoxideerd tot hematiet, terwijl er vrije zuurstof voorhanden is.

Magnetiet in stukertsvorm is erg gasdicht en moeilijker te reduceren dan hematietertsen, hoewel de magnetietertsen minder zuurstof bevatten. De oorzaak hiervan moet gezocht worden in een verschillende kristalstructuur. De reductie van hematiet naar magnetiet leidt tot een omzetting van de kristalstructuur, waardoor kleine breukjes ontstaan. Het oxide wordt hierdoor beter doorgasbaar.

Een vergelijkbare volume verandering van de kristalstructuur vindt niet plaats bij de overgang magnetiet \rightarrow wustiet.

1.5. Slakvorming

In de ijzerertsen zijn ganggesteentes aanwezig; zij vormen de basis voor de slak, die zich in de haard van de hoogoven verzamelt. As van de kooks of kolen komt ook in de slak terecht. Voor de vorming van een goed smeltbare slak moeten aan de ertsen materialen, die kalk (CaO) en magnesiumoxide (MgO) bevatten, worden toegevoerd. Met dit soort toeslagstoffen kan de slak op de gewenste samenstelling gebracht worden. De factoren die van invloed zijn op de keuze van een slaksamenstelling komen voort uit chemische, fysische en commerciële overwegingen. De uiteindelijke keuze is daarom noodzakelijkerwijs een compromis. Slak moet voldoende vloeibaar zijn om gemakkelijk uit de hoogoven afgetapt te kunnen worden; tegelijkertijd moet de slak een hoge capaciteit t.a.v. de ontzwaveling hebben. Verder worden de silicium- en mangaangehaltes in het ruwijzer en de recirculatie van alkaliën (K en Na) beïnvloed door de slaksamenstelling. Daarnaast zal de afnemer van de slak nog eisen stellen aan de slak afhankelijk van het feit of de slak al dan niet gebruikt wordt voor cementproductie.

De belangrijkste componenten van de hoogovenslak zijn de vier oxides CaO, MgO, SiO₂ en Al₂O₃ die tezamen meer dan 96% van de slak vormen.

De smelttemperaturen variëren tussen 1300 - 1450° C afhankelijk van de samenstelling.

In hoofdstuk 6 wordt er dieper op de hoogovenslak praktijk ingegaan. In het algemeen worden de chemische eigenschappen van de slak bepaald door de samenstelling; de verschillende componenten worden geclassificeerd als zuur of basisch.

Zure oxide: SiO₂ en TiO₂

Basische oxides: CaO en MgO.

Intermediaire oxide: Al₂O₃.

Slakken met een hoog kalkgehalte zijn basisch en slakken met een hoog SiO₂-gehalte zijn zuur. Hoe basischer de slak is des te beter is de ontzwavelingscapaciteit maar dan wordt de smelttemperatuur (liquidustemperatuur) ook hoger.

Gewoonlijk wordt de slakbasiciteit uitgedrukt als een eenvoudige verhouding. Bij Corus IJmuiden wordt onderstaande formule gebruikt om de basiciteit uit te drukken.

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2} = \text{basiciteit (1,45 à 1,5)}$$

Sommige bedrijven gebruiken alleen $\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$,

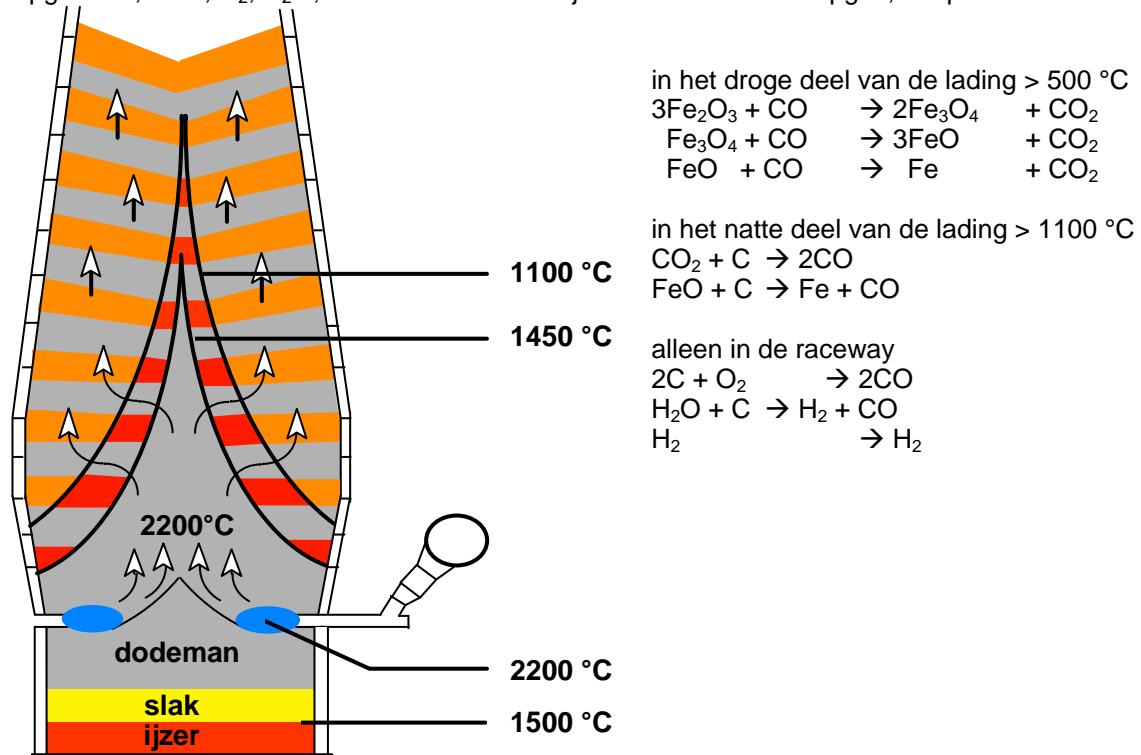
anderen de grote basiciteitsformule zoals wij die vroeger ook gebruikten

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$$

1.6. Samenvatting van hoogovenreacties.

De belangrijkste reacties in de hoogoven worden aangegeven in figuur 1.5

Topgas CO, CO₂, H₂, H₂O; alle zuurstof van de ijzeroxides zit in het topgas, temperatuur 100 - 150° C



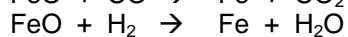
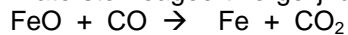
figuur 1.5 Reacties in de hoogoven.

Uit de injectiekool komt veel H₂ in de oven (4,5 à 5,5 gewichts %).

Bij 200 kg. Poederkoolinjectie is dit ca. 10 kg. Door het lage mol gewicht (2) is dit een groot volume nl. 11,2 m³/ kg H₂

Hiervan wordt gemiddeld 40% in de oven geoxideerd tot H₂O volgens $\text{FeO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}$.

Waterstof reageert vergelijkbaar met koolmonoxide als onderstaand.



1.7 Een rekensom rond het hoogovenproces

Laten we eerst een voorbeeld nemen; Een grote oven (vergelijkbaar met HO 7) produceert ca. 10.000 t/d bij een windvolume van 6500 Nm³/min, verrijkt tot 25,6% O₂ en een kooksverbruik van 300 kg/t bij een koleninjectie van 200 kg/t.

De oven heeft vanaf blaasvormenniveau tot bovenkant lading een inhoud van 3800 m³ waarvan ca. 600 m³ wordt ingenomen door kooks in actieve kookszone.

- 1) Hoe vaak wordt de oveninhoud per dag ververst?

Om een ton ijzer te maken laden we in de oven

300 kg kooks	= 0,6 m ³
1500 kg sinter / pellets	= 0,75 m ³
totaal aan materiaal / ton ijzer	1,35 m ³

We maken 10.000 ton per dag en dus gooien we 10.000 x 1,35 m³ = 13500 m³ per dag in de oven.

De lading wordt dus 13500 m³ / (3800 – 600)m³ = ruim 4 x /dag ververst. Het ijzer dat bovenin beladen wordt komt 6 uur later langs de vormen.

Bij het diepblazen, produceren zonder belading, wordt dus 2400 ton afgetapt.

- 2) Wat gebeurt er met kooks en kolen?

Per ton ijzer gebruiken we ongeveer

300 kg kooks, C gehalte 87%	= 261 kg C
200 kg poederkool, C gehalte ca. 80%	= 160 kg C
Totaal koolstof	421 kg

Daarvan lost ca. 45 kg op in het ijzer. De rest (421 – 45 = 376 kg) verlaat de oven over de top als CO en CO₂ in een verhouding van ongeveer 1:1.

- 3) Hoeveel topgas ontstaat er dan?

Met de stikstof in de hete wind gebeurt niets. We hebben aan stikstof

6500 Nm³ wind/min x (100 – 25,6) = 4836 Nm³/min

We maken per minuut aan ijzer 10.000/(24 x 60) = 6,94 ton

Dus aan stikstof hebben we $\frac{4836 \text{ Nm}^3}{6,94 \text{ t/min}} = 697 \text{ Nm}^3 \text{ N}_2/\text{try} = 871 \text{ kg stikstof}$

We hebben aan koolstof 376 kg dat als volgt de oven verlaat (bij 48% benutting):

196 kg als CO (28/12 x 196) = 457 kg CO gas

180 kg als CO₂ (44/12 x 180) = 660 kg CO₂ gas

Daarnaast zit er in het topgas nog H₂ en H₂O. Alles bij elkaar opgeteld ontstaat er per ton geproduceerd ijzer meer dan 2 ton aan topgas.

- 4) Als er zoveel topgas ontstaat, waait het dan hard in de oven?

Dat valt wel mee; in de vormen waait het hard (> 200 m/sec) maar boven in de oven ontstaat ca. 10200 Nm³ topgas/min. Gemiddeld over de diameter van 10 meter geeft dat bij een gastemperatuur van 120 °C en een topdruk van 2 bar, een gassnelheid van 1,04 m/sec: volgens de schaal van Beaufort is dat windkracht 1.

De bovenstaande sommen illustreren het hoogovenproces met een eenvoudige stofbalans.

Hoofdstuk 2

Grondstoffen: ijzererts, sinter, pellets

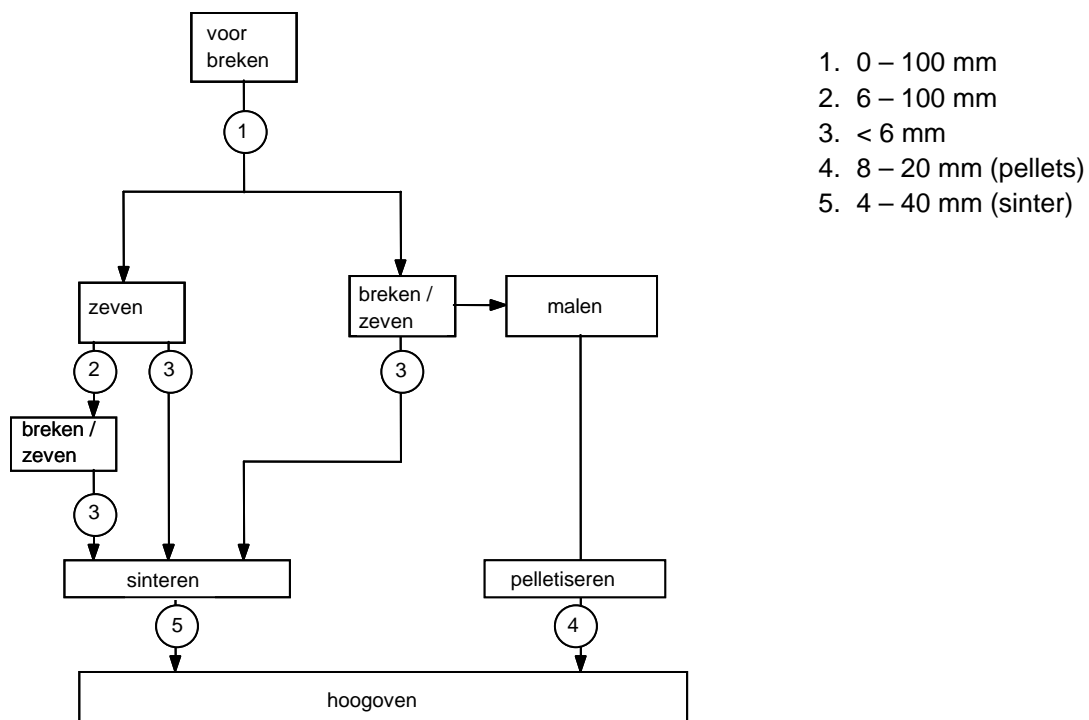
2. Vanuit een historisch perspectief gezien zijn de hoogovens vroeger vaak bij de ertsvoorkomens gebouwd. Oorspronkelijk werd ook vaak ijzer gemaakt op basis van deze lokale erts en houtskool. Later is de kooks hoogoven ontstaan. De lokale erts in west europa zijn vaak arm dwz. ze hebben een laag ijzergehalte. Geleidelijk aan is er een trend naar grote hoogovens ontstaan. De vestigingsplaats verschoof daarbij van nabij de ertsvoorkomens naar bevaarbare rivieren en vervolgens naar de kust. Deze ontwikkeling is nog vrij recent. In België en Luxemburg waren in 1960 nog 83 hoogovens in bedrijf. Nu zijn dat er nog maar 6 waarvan er maar 2 (Sidmar) "aan de kust" liggen. Voor moderne staalbedrijven is een rijk erts een natuurlijke keuze. Naast fijnertsen voor sinter en pelletsbereiding zijn er ook stukertsen beschikbaar. Vooral in de hoogovens van Corus UK worden grote hoeveelheden (10 – 20% van de mollar) stukerts gebruikt. In dit hoofdstuk gaan we in op het winnen van ijzererts, de productie van sinter en pellets en de eigenschappen van sinter, pellets en stukerts

2.1. Het winnen en de voorbehandeling van ijzererts.

Ijzererts kan in dagbouw en ondergronds gewonnen worden. De eerste methode brengt met zich mee dat een oppervlaktelaag, die weinig ijzer bevat, verwijderd wordt. Vervolgens wordt met explosieven de laag gebroken waardoor ertsbrokken ontstaan van diverse afmetingen die met vrachtauto's worden vervoerd naar plaatsen, waar de ertsbrokken verkleind kunnen worden tot de maten die vereist zijn voor het sinter- en pelletiseerproces.

Arme ertsen en ertsen die gemakkelijk vergruizen, moeten verder behandeld worden; zij worden nogmaals gebroken met hamermolens of kogelmolens en door scheidingsmethoden verrijkt tot bruikbare ertsen. De belangrijkste behandelingen van het erts zijn aangegeven in figuur 2.1.

figuur 2.1



2.2. Concentratiemethoden.

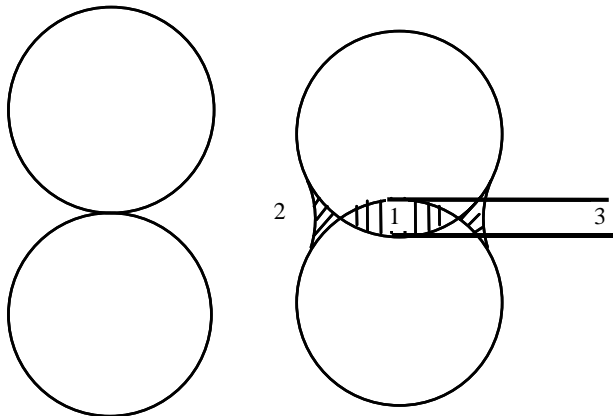
Concentratiemethoden worden gebruikt ten einde materiaal te produceren dat meer ijzer bevat dan het oorspronkelijk materiaal. Bij de eerste pogingen om de ijzererts-kwaliteit te verhogen, werd het wassen met water toegepast, waardoor klei en fijn zand verwijderd konden worden. De zwaardere, ijzerbevattende deeltjes, zinken in de waterstroom naar beneden en worden verwijderd als concentraat. Hetzelfde principe wordt gebruikt in de meer moderne methoden, waarbij zwaardere media dan water worden gebruikt om het fijn gemalen erts te scheiden. Als zwaar medium wordt vaak gebruik gemaakt van fijnverdeeld siliciumijzer in water. Door de hoeveelheid siliciumijzer per volume-eenheid te variëren, varieert het soortelijk gewicht van de vloeistof. Bijvoorbeeld een licht materiaal als kwarts (S.G. 2.65) kan gescheiden worden van hematiet (S.G. 5.60) door een vloeistof te gebruiken met een S.G. van 3. Het gebruik van magnetisch materiaal in de vloeistof vereenvoudigt het hergebruik van dit materiaal.

Het scheiden van magnetiet ertsen is veel minder arbeidsintensief. De slakdeeltjes zitten veelal aan de rand van het ijzerkristal. Het maalproces maakt ze los waarna de ijzerhoudende deeltjes met behulp van een magneet afgescheiden worden en het "stof" overblijft.

2.3. Productie van sinter

Het sinterproces wordt gebruikt om aanvankelijk aparte deeltjes aan elkaar te smelten door tot een hoge temperatuur te verhitten. De drijvende kracht achter het sinterproces wordt gevormd door de afname van de oppervlakte-energie, die bij verdichting van materiaal optreedt. De vorming van bindingen tussen de deeltjes wordt versneld door de aanwezigheid van een vloeistof. (figuur 2.2.)

figuur 2.2

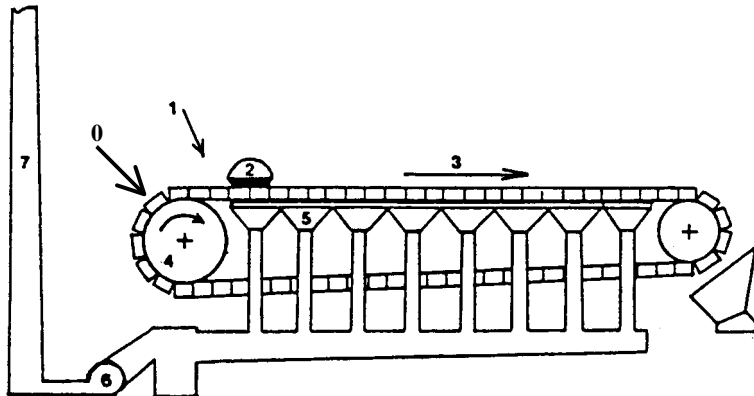


1. verdichting
2. hals
3. inkrimping

Dwight en Lloyd construeerden in 1906 de eerste continu-sintermachine; hetzelfde principe wordt nog steeds gehanteerd. De belangrijkste kenmerken van sintermachines zijn opgenomen in figuur 2.3. De productiewijze van hoogovensinter wordt hieronder beschreven.

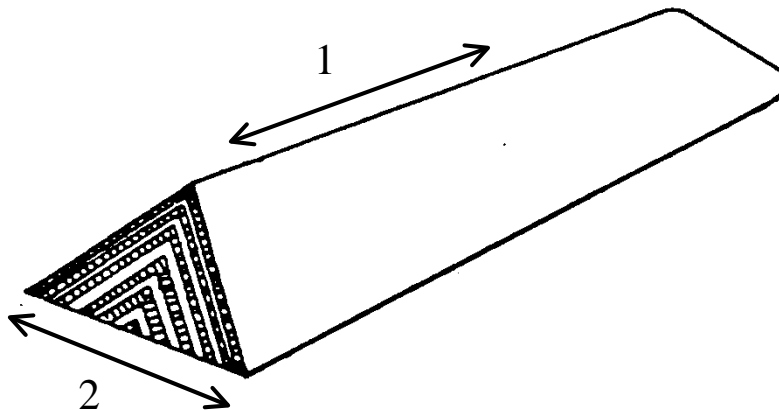
Nadat het sintererts bij het staalbedrijf is afgeleverd, wordt het op opslagen bewaard. Meestal worden verschillende ertsen op een of andere wijze met elkaar vermengd vóór ze in de sinterfabriek verbruikt worden; mengbedden op basis van de Chevron opbouw zijn hiervoor een gangbare methode (figuur 2.4), maar ook andere type mengbedden komen in de verschillende industrietakken voor.

figuur 2.3



0. roosterlaag
1. sintermengsel
2. ontstekingskap
3. sinterband (draairichting)
4. aandrijf wiel
5. afzuigkasten
6. afzuigventilator
7. schoorsteen

figuur 2.4



1. opbouwrichtingen
2. afgraafrichtingen

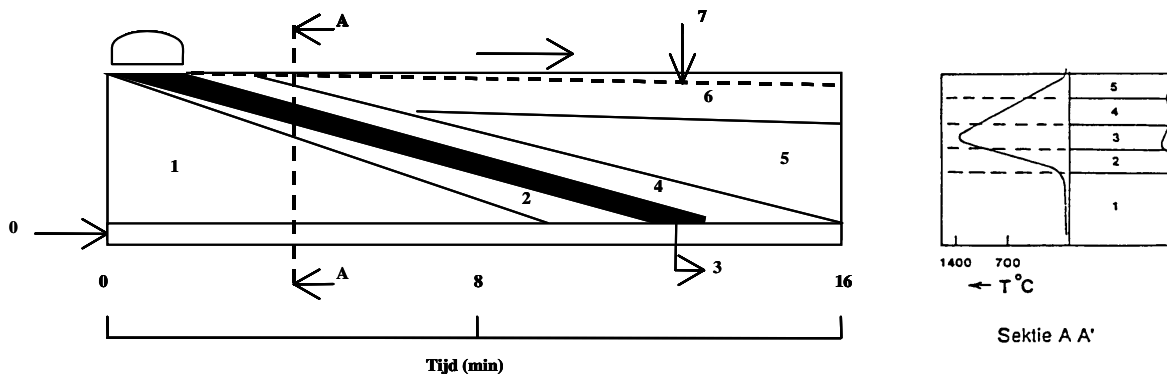
In de sinterfabriek worden o.a. kalksteenfijn, retoursinter en kooksbries toegevoegd met behulp van doseersystemen. Verder wordt nog wat water toegevoegd om de kleinste deeltjes vast te "plakken" aan elkaar of aan grotere. Op deze manier wordt de luchtdoorlaatbaarheid van het sintermengsel zo groot mogelijk gemaakt; de doorlaatbaarheid is van groot belang, omdat het de luchthoeveelheid bepaald die door het sinterbed getrokken kan worden en dus ook de productiesnelheid en de kwaliteit. De precieze hoeveelheid water hangt af van de gebruikte ertsen en ligt meestal in het gebied van 5 - 7%.

Nadat erts, kooksbries en kalksteen gemengd zijn, worden de ertsen als een soort tuinaarde mix in een laag van 30 - 65 cm op een sinterband gebracht. Het sinterproces begint met de ontsteking van de kooksbries onder een ontstekingskap. De sinterband is zo geconstrueerd, dat er lucht doorheen

gezogen kan worden. Gedurende het transport op de sinterband beweegt de raceway zich geleidelijk naar beneden en de bedoeling is, dat het sinterproces aan het einde van de band voltooid is.

De verschillende zones, die gedurende het sinterproces ontstaan, staan aangegeven in figuur 2.5. Teneinde de sinterband tegen oververhitting te beschermen, wordt een roosterlaag van tussensinter (15 -25 mm.) aangebracht vóórdát het sintermengsel op de band wordt gebracht. Deze praktijk bevordert een goede gasverdeling en beperkt stofverliezen.

figuur 2.5



0. roosterlaag
1. natte sintermix
2. voorverwarmen, verdampen en condenseren van water en ontleding kalksteen
3. vlamfront
4. plastische sinter
5. sterke sinter
6. sinter met een variabele sterkte (bros)
7. krimp

Nadat de sinter van de sinterband is afgefallen, wordt het gebroken, gekoeld en gezeefd. De tussenfracties (15 – 25 mm) worden gebruikt als roosterlaag, de < 5 fractie als retoursinter. De bulk van het materiaal wordt naar de bunkers van de hoogovens gestuurd. Moderne sinterfabrieken kunnen meer dan 25.000 ton sinter per dag produceren. De grootte van een installatie wordt meestal aangegeven als het oppervlak van de band. De grootste sinterbanden zijn 5 meter breed en 120 meter lang; maar veel kleinere sinterbanden zijn nog in bedrijf.

Onze sinterfabriek bestaat uit 3 sinterbanden:

Sifa 1 = 36 x 2,5 = 90 m² zuigoppervlak

Sifa 2 = 44 x 3,0 = 132 m² zuigoppervlak

Sifa 3 = 44 x 3,0 = 132 m² zuigoppervlak

Een belangrijk aspect van sinter is, dat de toevoeging van kalksteen aan het sintermengsel gevarieerd kan worden, zodat de basiciteit van de sinter aangepast kan worden aan het hoogovenproces en aan de gebruikte möller. Sinter die net voldoende kalksteen bevat om zijn eigen ganggesteente te compenseren, wordt self-fluxing genoemd. SiO₂ is ook aanwezig in kooksas, kolenas en in ganggesteente van toeslag of pellets. Als alle kalksteen, die nodig is om deze extra SiO₂ te compenseren, in de sinter wordt gebracht, dan heet de sinter super-fluxed. De belangrijkste reden om de kalksteen in de sinter te stoppen en niet in de hoogoven te laden heeft te maken met kalksteenontleding, die sterk endotherm is en het positieve effect van kalk op de sinterproductie.

De reactie: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ (warmte vraag 177 kJ/mol) vindt niet in de hoogoven, maar op de sinterband plaats. Daardoor is de warmtebehoefte van de hoogoven lager en verbetert het SRE-verbruik van de hoogoven. Bovendien wordt het CO₂ buiten de hoogoven gevormd en afgevoerd, zodat het effect op het reductie-evenwicht wordt voorkomen. Een nadeel van de flux in de sinter is, dat een minimale sterkte van de sinter optreedt bij een basiciteit van rond 1.3. Bij deze basiciteit bevat de sinter erg veel fijn.

Een hoge basiciteit >2 verbetert de sterkte en de sintersnelheid en daarmee de capaciteit. Onze fabrieken produceren normaal ruim boven de 2 (CaO/SiO_2)

Tenslotte moet opgemerkt worden, dat het sinterproces aanvankelijk gestart is om van al het ijzerbevattende afvalmateriaal van een staalbedrijf en van ertsleveranciers nog een voor de hoogoven bruikbaar product te maken. Geleidelijk is de kwaliteit van de sinter zo sterk verbeterd, dat sinter een betere grondstof is geworden dan stukerts. Dit ondanks dat in het algemeen grote hoeveelheden fijn afvalmateriaal in het sintermengsel worden verwerkt zoals: hamerslag, oxyslik, afzeefsel van sinter en pellets, stofzakstof en zinkarmstof uit de waterreiniging.

Samenstelling sinter bij Hoogovens:

Fe 58%	84 %	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_3\text{O}_4$
	3,5 à 4,5 %	SiO_2
	1,4 %	MgO
	9 à 12 %	CaO

2.4. Productie van pellets.

Productie van pellets is een vrij recente ontwikkeling, die met name veroorzaakt wordt door de manier waarop ertsen bij de mijnen verrijkt worden. De meeste pelletfabrieken staan dan ook dicht bij de mijnen, hoewel een paar staalfabrieken hun eigen pelletsfabriek hebben. De productie van gebrande pellets met een diameter van 9 - 15 mm wordt in 4 stappen uitgevoerd, zodra het ertsconcentraat voldoende fijn gemalen is.

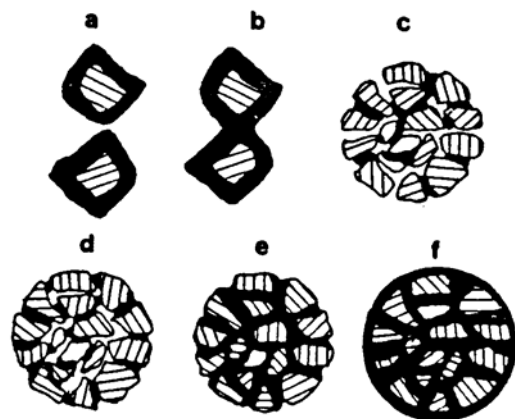
Stap 1 *Vorming van groene pellets.*

Het mechanisme, waardoor de groene pellets gevormd worden berust op de samendrukkende krachten die ontstaan als het concentraat in grote trommels of op schotels in de aanwezigheid van water wordt rondgedraaid. Dit staat geïllustreerd in figuur 2.6.

figuur 2.6

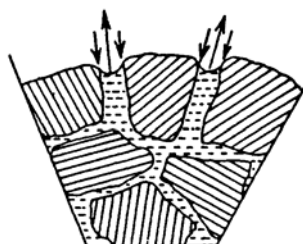
Vorming van groene pellets:

- a. voor bevochtiging
- b. primaire binding
- c. en d. vorming
- e. optimale vorm
- f. na overmatige bevochtiging



figuur 2.7

Capillaire krachten tussen de deeltjes.



Op de eerste plaats moet er voldoende water zijn om het oppervlak van de deeltjes te bedekken, zodat een vloeistofbrug tussen twee deeltjes gevormd kan worden. Door "capillaire" krachten (figuur 2.7) worden de deeltjes aan elkaar gehecht. Door het voortdurend rollen gaat de samenhechting van de deeltjes steeds verder. De vorming van de groene pellets gaat het beste als alle poriën met water gevuld zijn, en het externe oppervlak relatief droog is. Als te veel water gebruikt wordt, worden de capillaire krachten veel kleiner en dan vallen de pellets weer uit elkaar.

Stap 2 Drogen.

Uiteindelijk moeten de tijdelijke bindingen in de groene pellets vervangen worden door samensmelting bij hoge temperaturen. Geleidelijk wordt het water verwijderd door verhoging van de temperatuur tot 300 - 350° C. Dit moet echter voorzichtig gebeuren, omdat de groene pellets anders weer uit elkaar vallen. In de meeste gevallen is een binder, als bentoniet, nodig om voldoende sterkte in de droge pellets te hebben.

Stap 3 Branden.

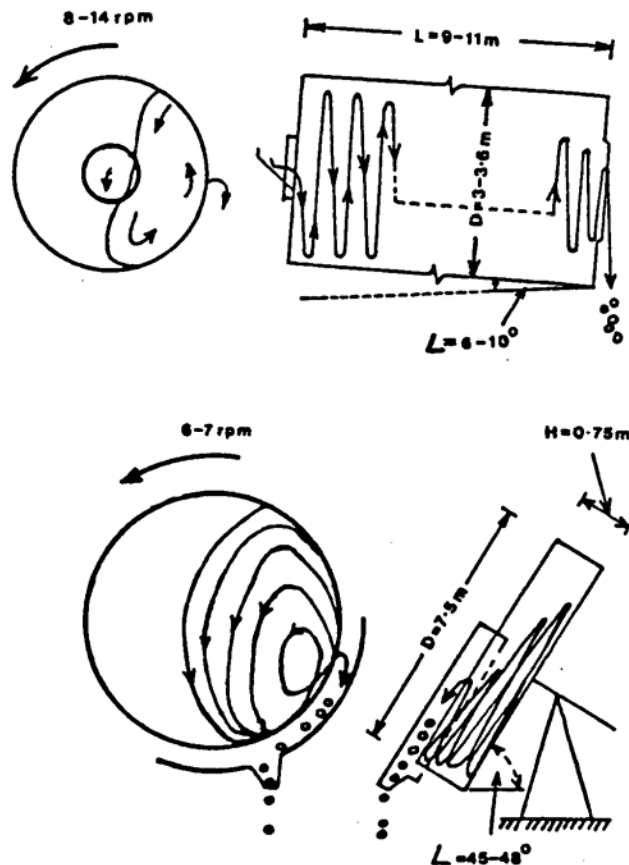
Als de droge pellets verhit worden tot een temperatuur van 1250 - 1350° C, sinteren de ertskorrels op de raakpunten aan elkaar.

Stap 4 Afkoelen.

Tenslotte moeten de gebrande pellets onder gecontroleerde omstandigheden afgekoeld worden, zo dat zo weinig mogelijk barstjes in de pellets optreden.

In pelletsfabrieken worden de bovenstaande 4 stappen uitgevoerd. De vorming van groene pellets kan plaatsvinden in draaiende trommels of op draaiende schijven. Dit is getekend in figuur 2.8.

figuur 2.8



Principe werking van een vormtrommel en een vormschotel. Bij beide productiemethoden ligt de capaciteit tussen 80 - 140 ton per uur. De te fijne fractie wordt afgezeefd en weer in de vormtrommel of schotel teruggevoerd.

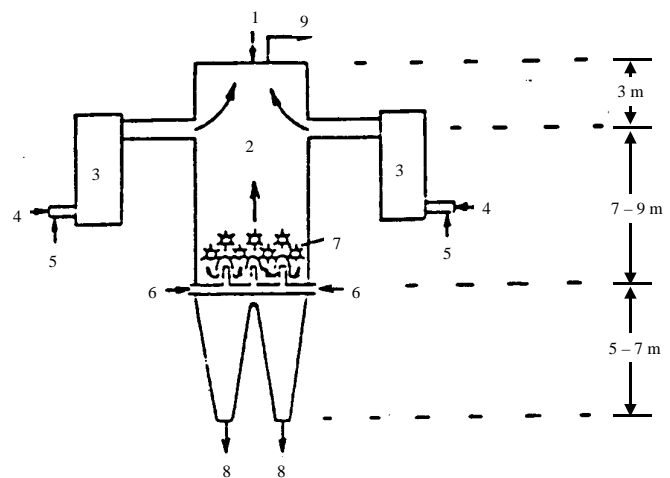
De warmtebehandeling van pellets kan op 3 manieren plaatsvinden. De eerste methode is een schachtoven. Dit is de oorspronkelijke methode. Later zijn "doorloopsystemen" ontwikkeld, oa. het zogenaamde "grate-kiln"-systeem. Het "grate-kiln"-systeem is een tussenvorm. De pellets worden op een sinterband verhit tot rond de 1100° C en daarna in een roterende oven nagebrand op 1350° C. Een groot nadeel van de roterende oven is de ringvorming in de oven tijdens het branden. Soms tracht men die met een soort kanon eruit te schieten.

Het derde systeem dat gebruikt wordt, is de roosterband-methode en is vergelijkbaar met het sinterbandsysteem. De drie systemen worden kort beschreven in de figuren 2.9 - 2.11.

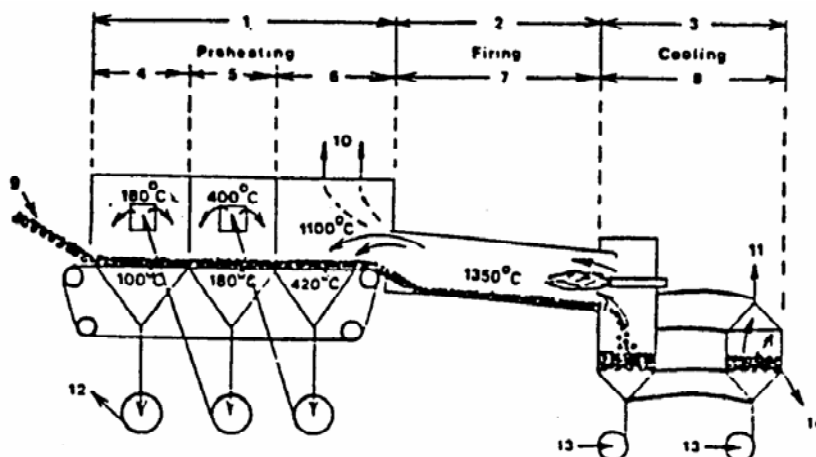
Bij Hoogovens wordt voor de fabricage van pellets de roosterband-methode gebruikt.

figuur 2.9 Schachtoven.

1. groene pellets
2. schacht oven
3. verbrandingskamer
4. brandstof
5. verbrandingslucht
6. koellucht
7. breken
8. gebrande pellets
9. rookgas

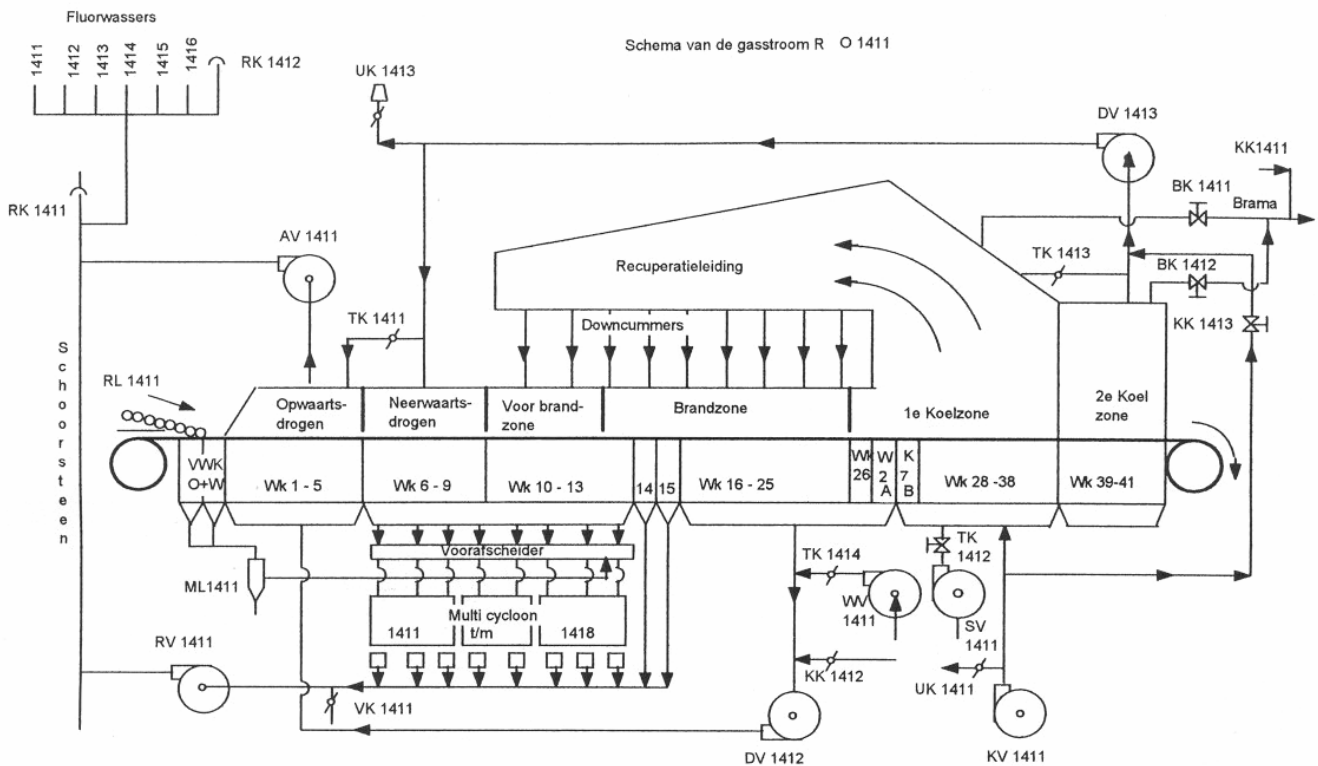


figuur 2.10 Grate kiln systeem.



- | | | | |
|----|---|-----|----------------|
| 1. | bewegend rooster | 8. | koelzone |
| 2. | draaiende oven | 9. | groene pellets |
| 3. | ringvormige koeler | 10. | rookgasafvoer |
| 4. | drogen | 11. | afzuiging |
| 5. | drogen en verwijderen van kristalwater | 12. | gaswasser |
| 6. | drogen, verwijderen kristalwater, ontleding van kalksteen/dolomiet en pre-firing (= oxydatiezone) | 13. | koellucht |
| 7. | brandzone | 14. | pelletsafvoer |

figuur 2.11 Roosterband systeem.



Pelletssamenstelling bij Hoogovens:

Fe 65,5%	94,5	% Fe ₂ O ₃
	2,5 à 3,5	% SiO ₂
	1,3 à 1,8	% MgO
	1	% Al ₂ O ₃
	< 0,25	% CaO

MgO zorgt ervoor dat de structuur van de pellets tot op hoge temperatuur in stand blijft.

Tenslotte: er bestaan nog andere systemen voor pelletsproductie. Dit zijn processen, waarbij een koude binding met cement wordt verkregen en de pellets moeten uitharden; het kan dagen tot weken duren voor de optimale sterkte ontwikkeld is. (de zog cold bonded pellets)
Deze productie methode is tot nu toe geen succesvolle oplossing gebleken.

2.5. De samenstelling en eigenschappen van ijzerhoudende grondstoffen

2.5.1 De grondstof sinter

Waarom maken we sinter van de huidige hoogbasische kwaliteit?

We maken de huidige hoog kalkhoudende sinter omdat het sinterproces bij uitstek geschikt is om de gewenste hoeveelheid basische slakbestanddelen in zich op te nemen en deze stoffen (CaO en MgO) via de in de sinter gevormde complexe calciumferreiten, in een weinig energie vragende vorm in de hoogoven te brengen.

In het sinterproces vindt het "kalk branden" plaats (ontleding van CaCO₃ tot CaO en CO₂.) Dit zou in de hoogoven veel energie vragen en tot productievermindering leiden.
Op de sinterband is deze hoeveelheid "ontledingswarmte" uiteraard ook nodig, echter hier geldt dat de gevormde CaO met de ijzeroxiden reageert tot producten met een laag smeltpunt waardoor bij relatief lage temperaturen reeds smelts ontstaan.

Uit deze smelts scheiden zich de complexe C.F.S.A.'s af (Calcioferrieten met Si en Al in de structuur) In theorie worden de smeltpoeltjes al gevormd vanaf 1080 tot 1200° C, echter bij de gangbare sintersnelheid zal het vlamfront waarbij het sinteren plaats vindt wel de 1200 à 1250° C halen. Dit is honderden graden lager dan de situatie uit vroegere dagen met de zure sinter (basiciteit 0,7) De toen gemeten vlamfront temperaturen overschreden vrijwel altijd de 1450° C waardoor bij hoge briesinzetten en daardoor lage sinterproducties een zeer dichte en slecht reduceerbare sinter ontstond. Wel was de sinter veel grover dan we tegenwoordig gewend zijn.



sinter

Omdat we bij de huidige manier van sinteren praktisch alle benodigde kalk en MgO in de sinter kwijt kunnen wordt het kalkaandeel zo groot gemaakt dat het de kalk (+ MgO) behoefte van de niet sinter componenten compenseert voor de gemiddelde slakbasiciteit van de hoogoven.

Ofwel wat de kooks- en kolenas vraagt aan CaO en MgO en wat de pellet nog te kort komt aan CaO wordt extra in de sinter gedaan om bij de hoogovenslak op de richtbasiciteit uit te komen. Dit uiteraard na aftrek van de Si die in het ruwijzer terecht komt.

We noemen dit de "kalkoverschot" (K.O.) sturing. Hiermee is tevens gezegd dat het K.O. van de sinter sterk beïnvloed wordt door het SiO₂ in de andere grondstoffen, met name in de as van kooks en kolen. Sterke fluctuaties zijn vaak aanleiding tot een andere K.O. instelling.

Het K.O. is dus afhankelijk van SiO₂ input en de hoogovenslakbasiciteit en wordt als volgt berekend:

$$\text{K.O.} = \text{CaO} + \text{MgO} - 1,48 \times \text{SiO}_2 = \text{bv. } 6,0$$

1,48 is de HO slakbasiciteit, de rest staat in gewichtsprocenten

$$\{ \text{bv. } 10,1 + 1,45 - 1,48 \times 3,75 = 6,0 \}$$

De hierboven beschreven beschouwing betreft puur de chemie van de sinter.

Kijken we naar de metallurgische kant van dit product dan komen we tot het volgende eisen pakket:

- De sinter moet goed gasdoorlatend zijn zowel individueel per brok als ook in de opgebouwde laag.
- De sinter moet bestand zijn tegen vergruizing door reductie, zeker bij de overgang van hematiet naar magnetiet; het RDI ofwel LTB gebied.
- De sinter moet zijn sterkte behouden tot hoge temperaturen zodat verweking en gasblokkering pas in een laat stadium plaats vinden.
- De sinter moet volledig afsmeltbaar zijn
- De sinter moet redelijk goed reduceerbaar zijn.

Van al deze eigenschappen lijkt de weerstand tegen vergruizing tijdens reductie de belangrijkste in het licht van de bij de hoogoven te bereiken productiecapaciteit.

Deze reductievergruizingsgevoeligheid wordt bij ons gevangen in het HOSIM getal. HOSIM staat voor Hoogoven Simulatieproef, het nabootsen van hoogovenomstandigheden op laboratorium schaal. Bij 950° C wordt de "hoogoven" afgebroken door het monster te koelen met stikstof. Daarna vindt afzeven plaats in een trommelzeef op 3,15 mm. Het % doorval geeft de waarde aan.

In de praktijk blijkt, dat als de reductiegevoeligheid uitgedrukt als HOSIM getal te groot wordt, dit de bulkdoorgassing van de hoogoven sterk negatief beïnvloedt. De oven krijgt een stug en onregelmatig zakgedrag en zal moeten worden afgeregeld.

Normaal is het voldoende in zo'n geval de briesinzet op de sinterband te verhogen en daarmee te streven naar een hoger FeO getal in de chemie van de sinter.

Dit loopt in de Sifa via 2 wegen. Meer bries betekent meer temperatuur en reducerende omstandigheden in het vlamfront op de band. Dit geeft meer vloeibaar in het sinterproces en na afkoeling een hoger aandeel aan massieve Calcio ferrieten (meer slabs, minder dendrieten) Bij koelen op de band zal na deze hogere temperatuur {massievere} sintersituaties een geringere heroxidatie van magnetiet naar secundair hematiet optreden. (De kristallen zijn voor het koelgas moeilijker te bereiken) Het resultaat zal zijn; meer FeO, minder reductiedegradatie echter een wat moeilijker te reduceren sinter. Deze vraagt daarom dan wat meer reductiemiddel, lees iets hoger kooksverbruik. Deze sinter blijft echter ook bij verdere reductie redelijk bestand tegen uiteenvallen in kleinere delen waardoor de hoofdgasstroming (bulkdoorgassing) slechts beperkt gehinderd wordt en daardoor de drukval over de lading maar beperkt toeneemt.

Als de vergruizing te groot is dan zal het aandeel gaten en kanaaltjes waardoor het gas stroomt in volumeverhouding behoorlijk kunnen terugvallen. Hierbij komt nog extra dat de beladingsystemen van de hoogovens de neiging hebben het fijn in het wandbereik te concentreren. Op plaatsen met een hoog fijn aandeel is de temperatuurstijging gematigd en daarmee de reductievergruizing extra groot. Al deze factoren werken in de verkeerde richting. Grover afzeven, bv. op 5 mm ipv. op 3 à 4 mm zou helpen maar is zeer duur doordat grote hoeveelheden retour moeten worden gerecirculeerd. Het genereren van extra fijn in het reductieproces moet daarom zoveel mogelijk worden onderdrukt. Dit is met wat meer briesinzet te regelen. Vandaar de sturing op een relatief hoog FeO aandeel teneinde de HOSIM rond de 18 % te houden.

Zoals reeds gezegd is bovenstaande niet bijzonder positief voor de gemiddelde reduceerbaarheid. De ervaring vanaf 1980 heeft echter geleerd dat voor het hoogovengedrag de reduceerbaarheid duidelijk ondergeschikt is aan de bulkdoorgassing. De HOSIM blijft dus maatgevend.

Het afsmelt gedrag van de sinter in de hoogoven wordt zeer sterk bepaald door de hoogbasische samenstelling in combinatie met grote hoeveelheden FeO.

Vanaf 1200 à 1250° C gaan grote hoeveelheden in verweking en afsmeltfase over. Zeer hoogbasische onderdelen {CaO > 2 x SiO₂} halen hogere temperaturen maar zullen bij voldoende FeO naar een smelt lopen die bij de 1300° C vloeibaar kan worden. Alleen bij onvoldoende FeO en SiO₂ in de structuur haalt de smelt 1500° C. Dit zal in de hoogoven nauwelijks voorkomen.

Onze pellets beginnen vanaf 1100° C plus al te verweken. Gebleken is echter dat een goede mix van pellets en sinter elkaar ondersteunen, de pellets gaan wat later en de sinter gaat wat eerder verweken doordat er CaO overdracht plaats vindt van sinter naar pellets bij hogere temperaturen. De smelteigenschappen beginnen elkaar dan wat te naderen.

Al met al hebben we bij het hoogovenproces nog nooit echt ondervonden dat het totale smelttraject te lang is.

Hoe dit uitpakt met grote hoeveelheden stukerts in de möller is op voorhand nog onduidelijk.

Samengevat kunnen we stellen dat de sintersamenstelling gedictieerd wordt door onze specifieke 50 – 50 sinter – pellets verhouding en het feit dat we als een van de weinige een eigen pelletsfabriek hebben maar een echt nadeel van deze situatie is tot nu toe niet aangetoond.

De kalkoverschot regeling bij het sinterproces maakt het mogelijk, relatief grote sprongen in SiO₂ in de componenten, bij de Sifa op te vangen.

2.5.2 De grondstof Pellets

De kwaliteit van pellets wordt vrijwel volledig bepaald door het slakvolume en de slaksamenstelling. Mondiaal kennen we hoofdzakelijk 3 typen:

- a) de zure pellets
- b) de selffluxing of basische pellets
- c) de olivijn pellets

Bij Hoogovens IJmuiden hebben we vanaf de start van de Pefa zure pellets gemaakt en zijn later overgegaan op olivijn pellets. Basische of selffluxing pellets zijn door hoogovens alleen gemaakt in een "testperiode" teneinde het productieproces onder deze omstandigheden te kunnen vastleggen en het gedrag in de ovens te kunnen volgen.

Hoog basisch of selffluxing pellets gedragen zich goed in een hoogoven. Het probleem van dit type is dat de productiecapaciteit van de huidige Pefa met ongeveer 1/8 deel terugvalt. Door de extra warmtevraag als gevolg van de benodigde energie voor de kalksteenontleding en de beperking in de capaciteit van de branders van de brandmachine raakten we in de testperioden 12% van de productiecapaciteit kwijt. Dit zou dan weer moeten worden aangevuld met aankoop pellets hetgeen deze situatie duur en ongewenst maakt.



pellets

Zure pellets, zoals vanaf het begin van de Pefa geproduceerd, zijn sterke pellets maar met vaak matige metallurgische eigenschappen. De gebrande druksterkte is goed (> 300 kg/pellet) maar de reduceerbaarheid valt tegen. Voorts heeft dit type neiging tot zwellen zo gauw het CaO gehalte in de mix aan de hoge kant uitvalt.

Om bovengenoemde redenen zijn we in de tachtiger jaren overgegaan op de Olivijn zure pellets, kortweg Olivijn pellets genoemd.

Deze Olivijn pellets hebben als kenmerk dat aan de zure pelletsmeelsamenstelling zoveel Olivijn ($2 \text{ MgO} \cdot \text{SiO}_2$) wordt toegevoegd dat het MgO gehalte oploopt naar globaal 1,5 gewichtsprocent.

Olivijnzand bestaat ruwweg uit 48% MgO en 42% SiO_2 . Naast het MgO gehalte wordt dus ook het SiO_2 gehalte opgevoerd. Nu is dit niet zo'n groot probleem omdat ons pelletsmeel nogal SiO_2 arm is. Vroeger deden we zelfs duinzand in de mix om de pellets echt zuur te houden.

Doordat het pelletsmeel erg fijn is gemalen kunnen we er van uitgaan dat de slaksamenstelling homogeen is geworden. We kunnen nu met tabellen en fasediagrammen de temperatuur bepalen waarbij de slaksamenstelling ten dele vloeibaar wordt en de temperatuur waarbij de slak volledig vloeibaar is geworden. De brandtemperatuur van de pellets ligt tussen deze twee grenzen in.

Naarmate er in het brandproces meer vloeibare slak wordt geproduceerd zal de pellet sterker worden, maar ook meer neiging hebben om bij reductie te gaan zwellen. Hierbij moet ook in ogenschouw genomen worden dat de fasediagrammen gelden voor oxiderende omstandigheden. Als we veel bries in de pellets doen en er ontstaan slaksystemen met FeO in de smeltfase, dan zal de hoeveelheid vloeibaar aanzienlijk kunnen toenemen.

De verklaring is de volgende:

Als het slaksmeltsysteem in temperatuur zakt wordt er relatief veel vloeibaar gemaakt en wel overwegend rond de contactpunten in de structuur. Dit vloeibaar vloeit ten dele over de Fe_2O_3 kristallen en bedekt ze alsof ze worden geglaazuurd. Een deel van het oppervlak wordt afgesloten van gascontact bij reductie. Hierdoor wordt topochemische reductie (langs het hele oppervlak) geblokkeerd. Het ijzerkristal gaat ijzer produceren op een beperkt aantal voorkeurspunten. Dit ijzer groeit als naalden uit het oppervlak. De kristallen drukken elkaar weg en de zwelling heeft plaats gevonden.

Het is dus van belang dit fenomeen zoveel mogelijk te vermijden. Het Research lab heeft indertijd uitgevonden dat dit met behulp van Olivijnzand goed mogelijk was. Als er slakdeeltjes vloeibaar worden en in contact komen met Magnesiumsilicaat, zal de smelt van beide een hoger smeltpunt nodig hebben waardoor stolling gaat ontstaan.

Het in de pellet ontstane FeO gaat verbindingen aan met MgO onder vorming van spinellen met een eveneens hoog smeltpunt. Zou het totaal aan slak en Olivijn homogeen vloeibaar willen worden dan moet de temperatuur klimmen naar 1420°C . Dit wordt in de branderij niet gehaald. De Olivijn smooit als het ware het ontstaan van een overmaat aan vloeibaar.

De sterkte na branden is daarmee ook veel lager dan die van de andere twee soorten nl. ongeveer 60%. (180 kg/pellet)

Proeven hebben echter uitgewezen dat niet de aanvankelijke sterkte van de pellets bepalend is maar de reststerkte die overblijft na de eerste reductiestap als het hematiet is overgegaan naar magnetiet.

De Olivijn pellets zakken dan naar 35 – 40 kg/pellet.

De zure pellets zakken van 300 naar 45 kg/pellet en zijn daarmee in die omstandigheden maar een haartje beter dan Olivijn pellets.

De reduceerbaarheid van Olivijn pellets is echter aanzienlijk beter, mede omdat door het lage aandeel "smelt" in de structuur het poriën percentage groot is en dus de gastransport mogelijkheid in de pellet goed.

Verhoging van het "slakvolume" zal de sterkte doen toenemen maar de metallurgische kwaliteit doen verminderen. Onze samenstelling is altijd een compromis tussen deze beide begrenzingsen.

2.5.3 De grondstof stukerts

Stukertsen zijn een rijk aan ijzer, natuurlijk voorkomend erts die gebroken worden op een geschikte grootte, zeg 10 – 30mm. De ertseigenschappen zijn slechter dan de eigenschappen van pellets en sinter. Meestal verweken stukertsen bij een lagere temperatuur en vergruizen de ertsen sterk bij reductie en opwarmen. De inzet van stukertsen kan er toe leiden dat de productie van een hoogoven beperkt wordt en dat het moeilijker is om na een stilstand het proces weer goed op gang te krijgen. De aantrekkelijkheid van stukerts is dat het veel goedkoper is dan gekochte pellets.

Interessante stukertsen hebben een ijzergehalte vergelijkbaar met pellets.



stukerts

Hoofdstuk 3

Grondstoffen: kooks, kolen en olie.

Een van de hoofd grondstoffen voor het hoogovenproces is kooks; de kooks vormt het skelet van de laagopbouw en kooks wordt gebruikt om het gas (CO) te produceren. Omdat kooks (en kolen) in andere processen als brandstof wordt gebruikt, wordt de term brandstof ook wel voor het hoogovenproces gebruikt, hoewel dat eigenlijk niet juist is. Tegenwoordig spreken we daarom van Reductiemiddel. De eenheid daarvan is de Standaard Reductiemiddel Equivalent (SRE) hiertoe worden alle koolstofdragers omgerekend naar kooks met 87,5% C.

Sinds de 18e eeuw is kooks de belangrijkste grondstof in de hoogoven, het is tot op heden de belangrijkste koolstof brenger. Sinds 1960 wordt steeds meer gebruik gemaakt van grondstoffen als olie, gas en kolen, die via de vormen in de oven geïnjecteerd worden. Tegelijkertijd hebben zich ontwikkelingen voorgedaan in de verbetering van de grondstoffen, temperatuur van de hete wind en de procesbeheersing, waardoor de benodigde hoeveelheid koolstof per ton ijzer aanzienlijk is afgenomen. (figuur 3.1).

3.1. Kooks en kookskwaliteit.

De belangrijkste functies van de kooks in de hoogoven zijn:

1. Kooks zorgt voor het grootste deel van de warmte die voor het proces nodig is.
2. Kooks zorgt voor de koolstof en het koolmonoxide, dat nodig is om het ijzererts tot ijzer te reduceren.
3. Kooks is het vaste materiaalskelet waardoor het gas naar boven gaat. De bijdrage van de kooks aan de doorlaatbaarheid van de lading is vooral van belang in het gebied, waar de ijzerhoudende materialen beginnen te verweken en te smelten.
4. Koolstof leveren voor het opkolen van het ruwijzer.
5. Kooks vormt onder de smeltzone de drager van de gehele lading

Verder speelt kooks ook nog een rol bij de reductie van bepaalde oxides uit ganggesteentes zoals SiO₂, MnO₂ en P₂O₅. In ieder geval is kooks altijd nodig voor de derde, vierde en vijfde van de bovengenoemde functies; voor de andere functies kan koleninjectie door de vormen gebruikt worden.

Voordat kooks in de hoogoven wordt gebracht, wordt deze afgezeefd, bijvoorbeeld tot de fractie > 35 - 100 mm. Zodra het optimum voor de gemiddelde korrelgrootte bepaald is, wordt in beginsel een zo klein mogelijk verschil tussen onder- en bovengrens van de zeeffractie gehanteerd. Een relatief gemiddelde korrelgrootte en een steile zeeffractie zijn nodig om een goede doorlaatbaarheid van de kookslagen in de oven te krijgen. Immers, zelfs bij een kooksverbruik van zo'n 400 kg/tRIJ neemt kooks de helft van de ruimte in de hoogoven in beslag. Ook vergruizing van kooks kan een negatief effect op de doorlaatbaarheid hebben. Vandaar dat er hoge kwaliteitseisen gesteld worden aan de kooks.

Bij de huidige procesvoering wordt het reductiegas door de kookslagen over de doorsnede van de oven verdeeld.

De laagopbouw van kooks vormt in het midden van de oven een vrijwel zuivere kookskolom. Hier doorheen stijgt het gas op en wordt via de kookslagen in de richting van de wand geleid.

De kookskwaliteit wordt meestal beschreven in termen van:

- de chemische samenstelling;
- de sterkte;
- kooksreactiviteit: dat is de mate waarin de kooks vergast onder invloed van CO₂ (C + CO₂ ---> 2CO).
- zeeffanalyse

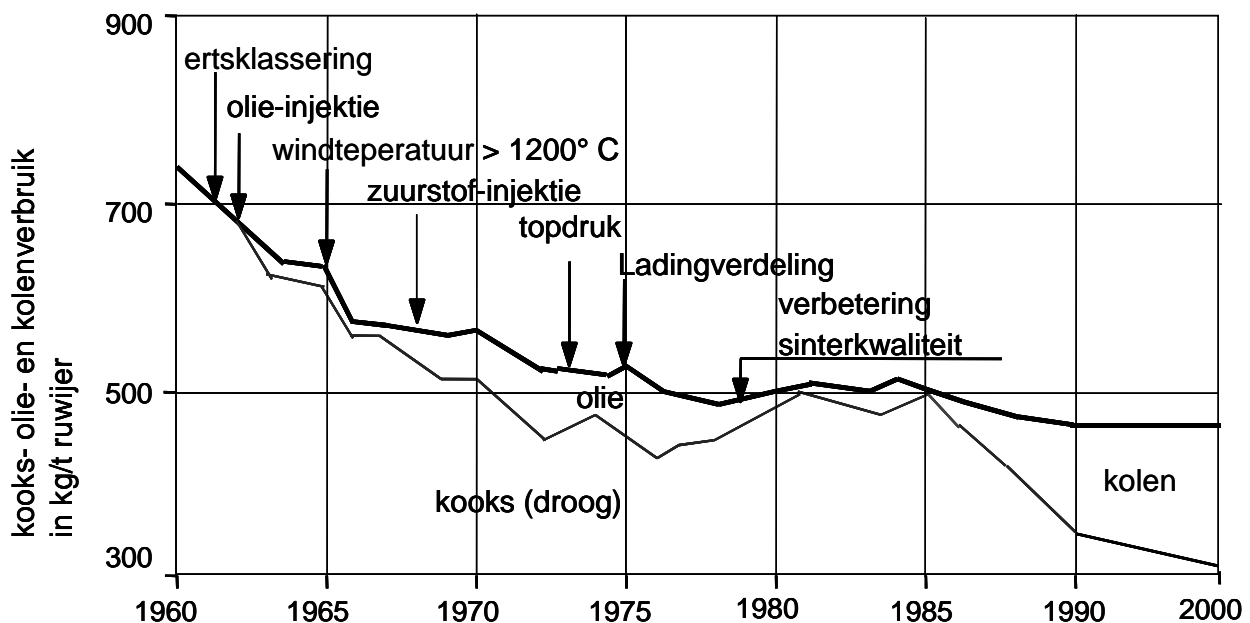
De chemische samenstelling van kooks wordt voor het overgrote deel bepaald door de eigenschappen van het gebruikte kolenmengsel. Het is duidelijk, dat een hoog koolstofgehalte

tezamen met een laag as- en laag zwavelgehalte wenselijk is. Normaal ligt het asgehalte van kooks tussen 8 - 12% en het zwavelgehalte tussen 0,5 - 1,0%. Bij ons is het zwavelgehalte globaal 0,7%.

De sterkte van kooks wordt meestal bepaald door middel van een beproeving, die bij omgevingstemperatuur de weerstand tegen afbrokkelen en breken meet. Hiervoor worden in het algemeen roterende trommels gebruikt. Nadat de trommel een gegeven aantal omwentelingen heeft gemaakt, wordt bepaald hoeveel materiaal na afzeving op een maat overblijft of doorvalt, uitgedrukt in percentages I_{10} en I_{40} .

I_{40} geeft aan hoeveel kooks grover is dan 40 mm en I_{10} geeft aan hoeveel kooks er kleiner is dan 10mm.

figuur 3.1



De daling van het kooksverbruik in de hoogoven door procesoptimalisering

3.2. Kooksbereiding.

Kooks wordt geproduceerd uit bepaalde kwaliteiten kolen, die op menghopen met elkaar gemengd worden. Dit materiaal wordt gebroken naar < 3 mm en naar de kooksovens gestuurd. Het verkookingsproces begint op het moment dat het kolenmengsel in de kookkamer gestort wordt. De wanden van de kookkamer hebben een temperatuur van $\pm 1000^{\circ}\text{C}$ en het kolenmengsel begint al tijdens het vullen warmte op te nemen. (zie figuur 3.4 en 3.5)

Tijdens het proces onderscheiden wij 3 fasen:

1. Het verdampen van H_2O in het temperatuurgebied tot 100°C .
2. Het ontwijken van vluchtige bestanddelen in het temperatuurgebied van $200 - 600^{\circ}\text{C}$.
In dat gebied ontwijkt de grootste hoeveelheid gas tussen de $300 - 600^{\circ}\text{C}$.
3. De verweking en daarna vast worden.
Dit proces vindt plaats in het temperatuurgebied van $300 - 600^{\circ}\text{C}$. Bij $\pm 300^{\circ}\text{C}$ begint de kool te verweken, het weke stadium handhaaft zich tot $\pm 450^{\circ}\text{C}$. Nadat deze temperatuur bereikt is, begint het vast worden van de "semi-kooks".
Bij een temperatuur van $\pm 600^{\circ}\text{C}$ is de massa vast, dit hangt af van het kolenmengsel.
De zwaardere koolwaterstoffen zijn nog niet geheel uit de kooks verdwenen zodat we de kooks nog niet kunnen drukken, omdat deze koolwaterstoffen bij onvolledige verbranding zwarte rookwolven geven. De zware koolwaterstoffen zijn bij 1000°C geheel ontweken of gekraakt en

daarom spreken we van gare kooks, als de gehele kookschoof in de kookkamer deze temperatuur bereikt heeft.

Hierna kan de kamer gedrukt worden met een zo gering mogelijke verontreiniging van de omgeving.

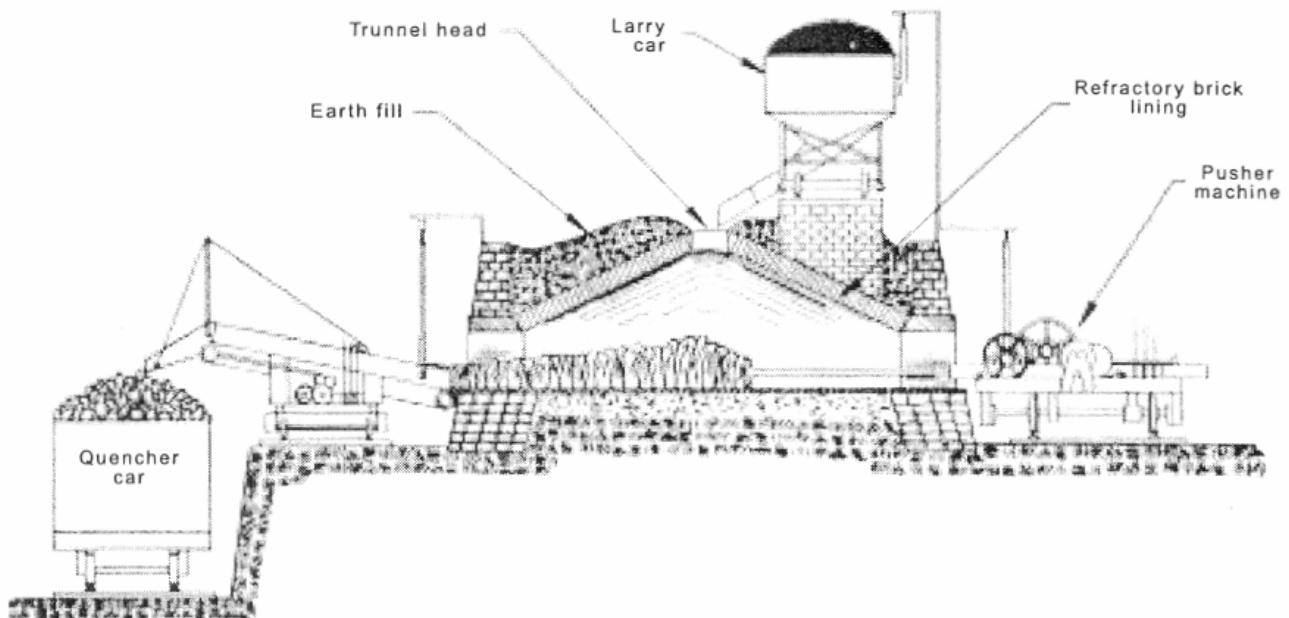
De kwaliteit is sterk afhankelijk van het kolenpakket. Momenteel wordt onderzocht of, met een minder (goedkoper) kolenpakket toch een goede kooks gemaakt kan



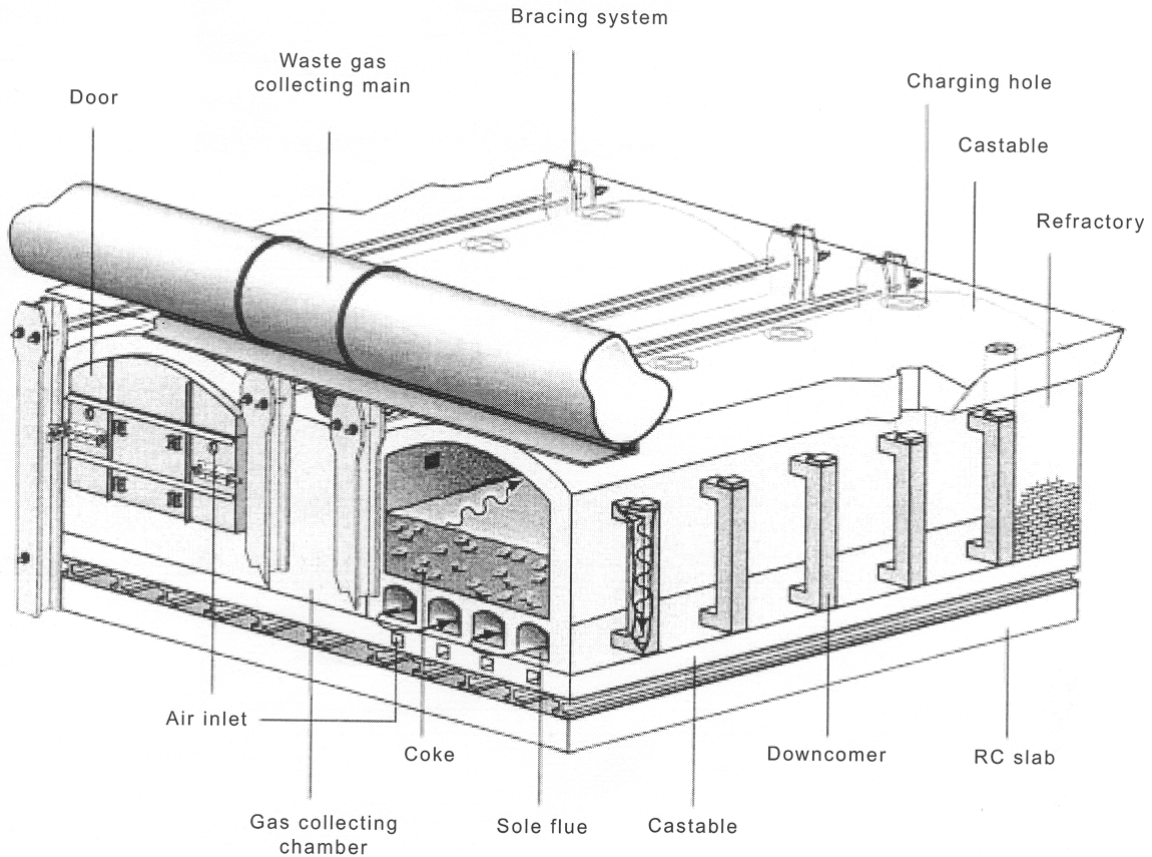
Kooks

Oorspronkelijk werd kooks gemaakt in een zogenaamde "beehive" (figuur 3.2): een platte kookkamer die van tevoren is heet gestookt. Door gecontroleerd lucht toe te laten verbrandt het ontwijkende gas en dit levert de warmte om de kolen te verkooksen. Na het verkooksingsproces wordt de buitenmuur afgebroken en wordt de kooks naar buiten gekrabbd..

Figuur 3.2 "Beehive" kooksovens



Dit proces is nu opnieuw verder ontwikkeld tot zgn. "non recovery cokebatteries. (figuur 3.3) Het gas wat vrij komt wordt niet teruggewonnen

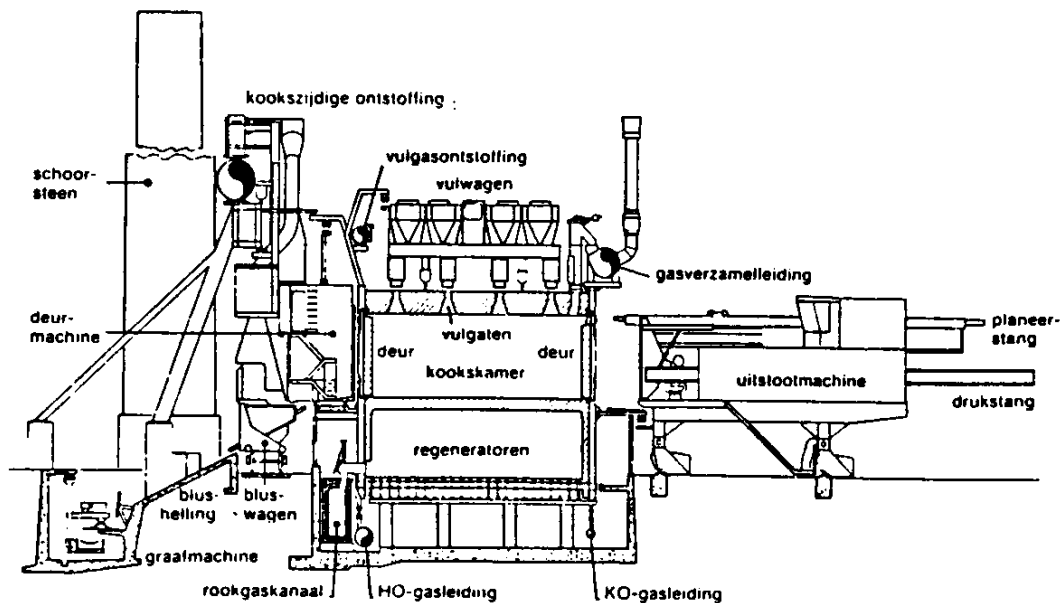


figuur 3.3 non recovery cokebatteries

Kooksfabriek 1 - dwarsdoorsnede van een kookbatterij

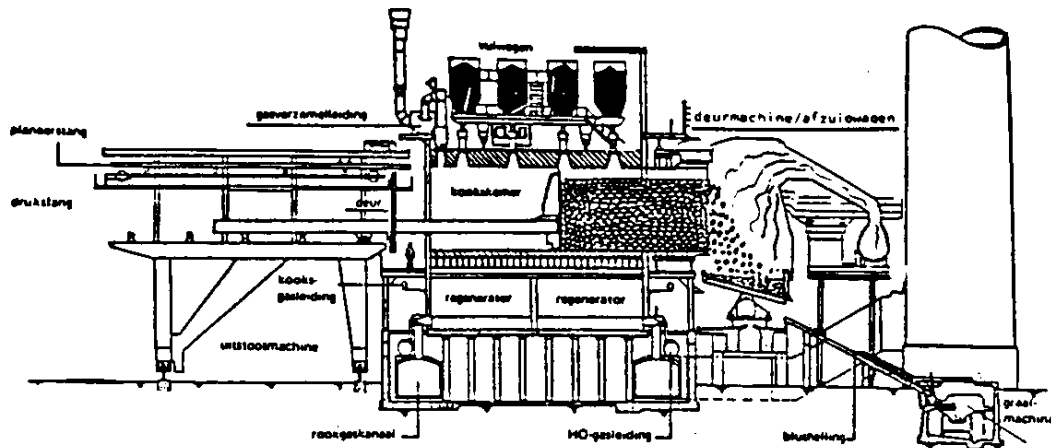
KOFA 1 heeft 7 batterijen met in totaal 234 kamers. Elke kamer is ca. 12 m lang, 4 m hoog en 45 cm breed: - inhoud 14 ton kolen.

KOFA 1 heeft een kolendoorzet van 4100 ton/dag; dagproductie 3000 ton kooks en ruim 1.4 miljoen m³ kooksoevngas.



figuur 3.4

Kooksfabriek 2 - dwarsdoorsnede van een kooksbatterij
KOFA 2 heeft 4 batterijen met in totaal 108 kamers.
Elke kamer is ca. 15 m lang, 6,5 m hoog en 42 cm breed: - inhoud 30 ton kolen.
KOFA 1 heeft een kolendoorzet van 3900 ton/dag: dagproductie 2800 ton kooks en ruim 1.3 miljoen m³ kooksofengas



Figuur 3.5

3.3 Koleninjectie

Sinds het begin van de 70'er jaren kan in een deel van de reductiemiddelbehoefte van de hoogoven worden voorzien door kolen te injecteren. Aanvankelijk werden niveaus van zo'n 60-100 kg KI (koleninjectie)/ tRIJ gehaald, bijvoorbeeld in de oven Amanda van Armco Steel in Ashland, Kentucky. In 1972 brak de eerste oliecrisis uit en werd het aantrekkelijk de tot dan toe gebruikelijke olie- en aardgasinjectie te vervangen door koleninjectie. Ten opzichte van olie en aardgas-injectie vraagt koleninjectie een aanzienlijke investering om de kolen te malen en te drogen. Daar komt bij, dat een poederkool/lucht mengsel in speciale omstandigheden stofexplosies kan veroorzaken. Aanvullend zijn dus voorzieningen nodig om explosies te voorkomen, zoals opslag onder inerte gasomstandigheden en explosie-onderdrukkings systemen. Kortom, het gaat hierbij om aanzienlijke investeringen, die sneller worden terugverdiend naarmate meer kolen worden geïnjecteerd; dus naarmate meer en grotere hoogovens een hoger injectieniveau bereiken.

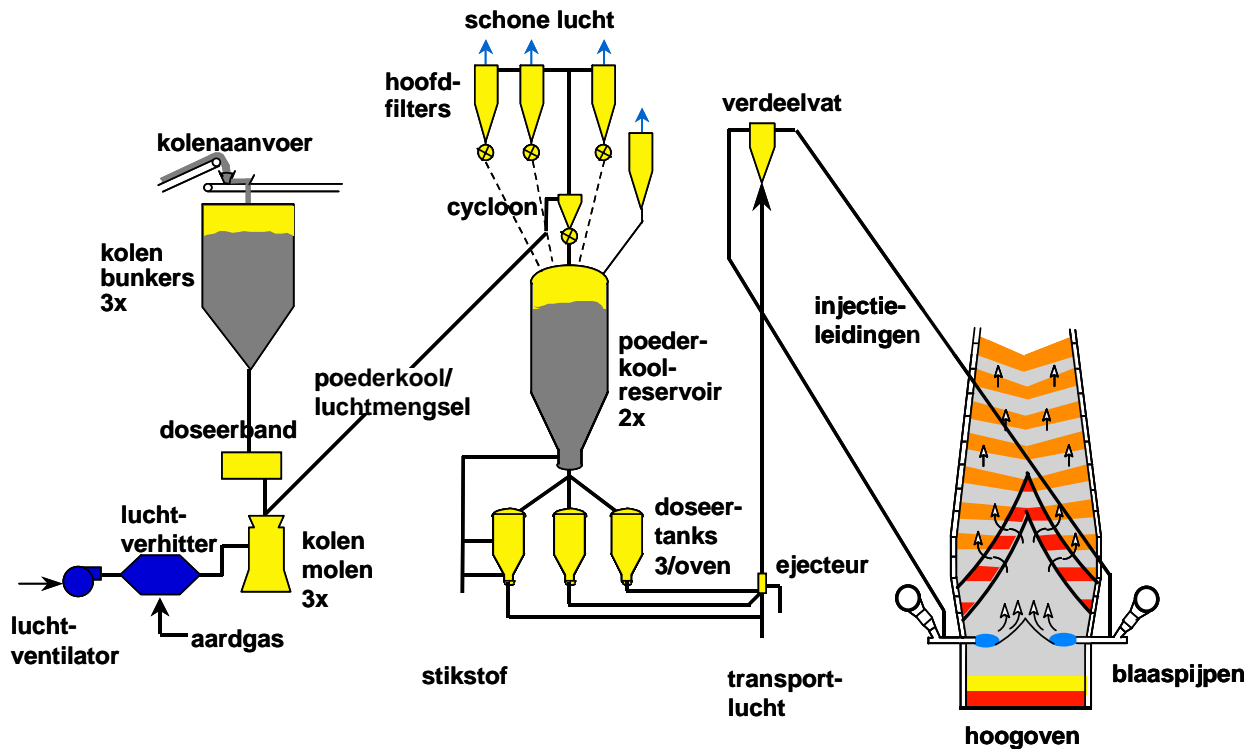
In IJmuiden is in 1983 de koleninjectie in bedrijf genomen. Het was de eerste in Europa en gebaseerd op de "proven technology" van Armco. (Zie figuur 3.6)

In de periode, dat de KI in gebruik is, is het injectieniveau geleidelijk toegenomen. Het verloop van de injectie in kg/tRIJ is aangegeven in figuur 3.7 voor Corus IJmuiden. Thans zijn kooksverbruiken van ca 300 kg/t gebruikelijk. Daarbij horen injectieniveaus -afhankelijk van de soort kolen- van 180-240 kg/t.

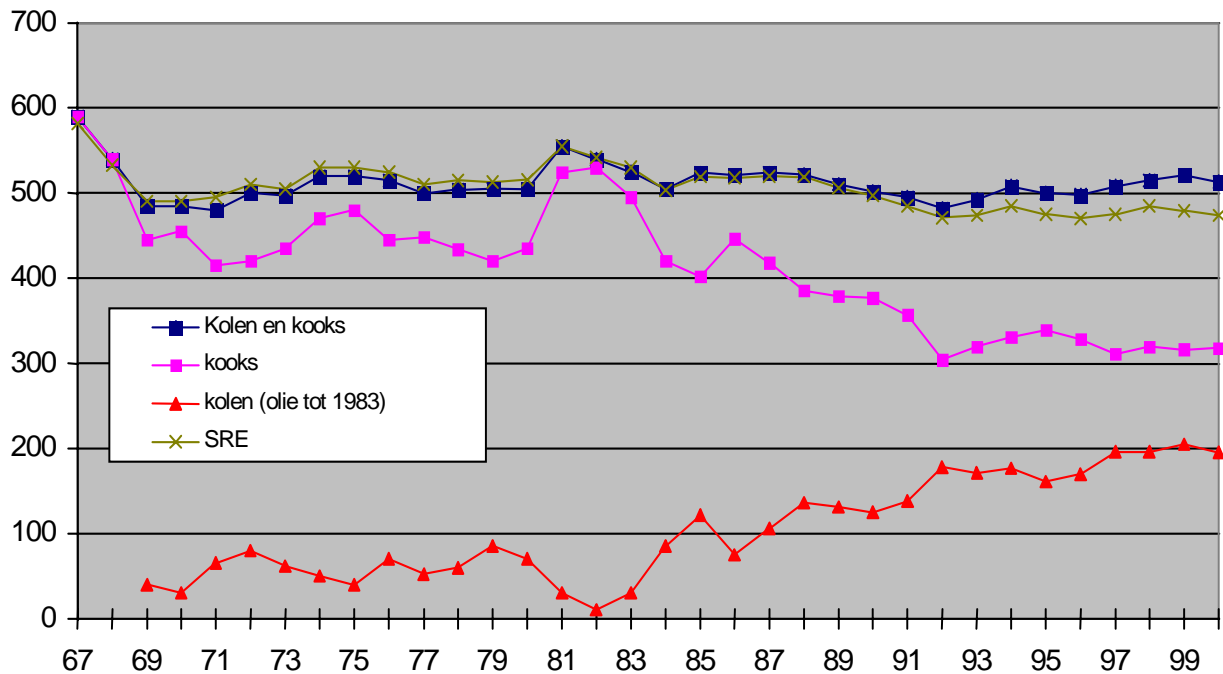
Deze injectieniveau's kunnen alleen gehaald worden, als de wind verrijkt wordt met zuurstof. Verhogen van de koleninjectie leidt ertoe, dat niet gloeiende kooks vergast wordt, maar koude kolen; daardoor gaat de vlamtemperatuur naar beneden. Dit wordt gecompenseerd met extra zuurstof in de hete wind. Daardoor neemt dan de hoeveelheid gas, die per ton ijzer gevormd wordt, af. Het gevolg is, dat bij stijgende vlamtemperatuur de toptemperatuur naar beneden gaat.

Aan de andere kant, door vervanging van kooks door kolen bij hetzelfde zuurstof% in de wind, wordt ook meer gas per ton ijzer gemaakt: de kolen bevatten veel waterstof, dat weer gebruik wordt in het reductieproces. Meer gas leidt tot een hogere topgastemperatuur. In de praktijk wordt in IJmuiden de zuurstofinjectie zodanig aangepast, dat de toptemperatuur 110-130 °C is.

Figuur 3.6: schematische weergave koleninjectie van Corus IJmuiden



Figuur 3.7: koleninjectioniveaus in IJmuiden



In het onderstaande gaan we in op de kolenselectie, de injectie van kolen in de vormen, de kolenvergassing, processturing van de hoogovens met koleninjectie en de baten van de koleninjectie.

3.3.1 Kolenselectie

Kolen worden onderscheiden naar de mate van "vluchtigheid"; dat is het gehalte aan vluchtige bestanddelen. Het wordt bepaald door kolen 3 minuten tot 900 °C te verhitten. In IJmuiden zijn de meest toegepaste kolen hoogvluchtige tot ultra hoog vluchtige kolen. Dat betekent dat bij verhitten 30-45% van het materiaal als gas ontwijkt.

De kolen, die bruikbaar zijn in onze installaties, moeten aan een aantal eisen voldoen.

- de goede "hardheid" hebben; onze molens zijn ontworpen voor relatief harde kolen;
- de goede korrelgrootte hebben; aangevoerde kolen mogen niet grover zijn dan 80 mm;
- zoveel mogelijk kooks vervangen; daartoe maken we vaak gebruik van de zogenaamde vervangingsverhouding; dat is hoeveel kg standaardkooks (87,5% C) vervangen wordt per kg kolen; dit betekent ook, dat de kolen zo droog mogelijk de oven in moeten gaan; de vervangingsverhouding kan geschat worden met:

$$\text{Vervangingsverhouding} = 2 \cdot C\% + 2,5 \cdot H\% + 0,9 \cdot \text{as}\% - 2 \cdot H_2O_{\text{in}} - 86$$
; soms wordt gebruik gemaakt van een formule, waarbij ook rekening gehouden wordt met de warmtebalans:

$$\text{Vervangingsverhouding} = \%C + 2,4\%H - 0,1\%O - 0,1\%as - 1,7H_2O_{\text{in}} - 6,4 Kw + 3,9 Kw$$
 Kw is kraakwarmte.
- het "te verdampen vocht" laag is; in onze installaties kunnen we ca 6% water uit de kolen verdampen bij volledige gebruik van de doorzetcapaciteit;
- voldoende laag zuurstofgehalte hebben; kolen met een hoog zuurstofgehalte zijn meer gevoelig voor zelfontbranding;
- geschikte chemie hebben; voor de staalbereiding zijn vooral het fosfor- en zwavelgehalte van belang;
- en een zo goed mogelijk "value in use" hebben, die op zich weer bepaald wordt door bovengenoemde technische factoren en de aankooprijzen en transportkosten.

De eisen aan injectiekolen zijn vermeld in onderstaande tabel 3.1.

Tabel 3.1 Eisen aan injectiekolen; eisen variëren in de loop der jaren

onderwerp	eis	waarde	opmerkingen
hardheid	HGI	45-55	
granulometrie	%>50 mm	0%	
Vervangingsfactor	Zo hoog mogelijk	>85%	
Vocht	Te verdampen	max. 6%	
S		<0,7%	per soort verschillend
P		<0,025%	per soort verschillend
O		< 13%	
stand. deviatie as%	<1%		
self heating temperature		> 52	139,7 - 6,8*%O

Voor de gemalen kolen geldt:

- vocht moet voldoende laag zijn, omdat gevonden is dat te hoog vocht% in de gemalen kolen tot plakgedrag leidt; dit plakgedrag kan leiden tot aanzettingen en vervolgens tot broei in de installatie leiden. Afgesproken is dat het vocht% kleiner of gelijk moet zijn aan het zgn. "equilibrium-vocht": het vochtgehalte dat de kolen uiteindelijk bereiken als ze aan lucht (met 96% relatieve vochtigheid) blootgesteld worden.
- de korrelgrootte van de kolen is voor ca 50% van het gewicht < 75 µm.

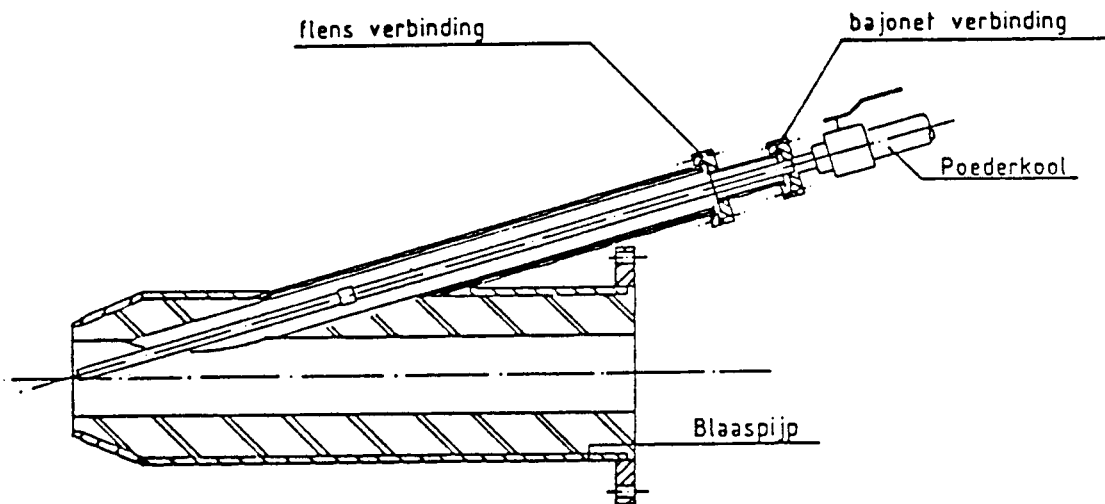
3.3.2 Injectie van kolen in de vormen

3.3.2.1 Lansontwerp en lokalisatie

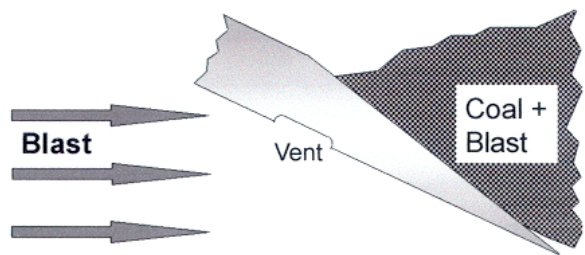
De kolen worden via lansen in de vormen geblazen. Daarvoor zijn jarenlang stalen pijpen met een diameter van 19 mm gebruikt (figuur 3.8). Internationaal is een tendens waar te nemen, waarbij de injectie van de kolen meer gebaseerd wordt op "brandertechnologie"; vandaar dat bij andere hoogovens zowel twee lansen per vorm worden gebruikt als coaxiale lansen met zuurstofinjectie. Met deze concepten zijn ook in IJmuiden proeven gedaan. Voorlopig is de werkhypothese dat de kolenvergassing wordt bevorderd door het gebruik van hoogvluchtige kolen en door zoveel mogelijk turbulentie te veroorzaken aan de lanstip. Sinds 2001 zijn daarom "vulpenlansen" - een concept van Sollac- in gebruik. (Figuur 3.9)

Teveel turbulentie of onjuiste plaatsing van de lans kan tot aanzettingen van kolenas in de vorm of op de lans leiden. Het spoelen van de lansen is bedoeld om dit soort aanzettingen periodiek te verwijderen.

Figuur 3.8: lanspositie in blaaspijp



a. Bovenaanzicht afgezaagd slijtstuk



b. Uiteenslaan pluim vanwege stroming hete wind door ventilatiegat

Figuur 3.9: "vulpenlansen"

3.3.2.2 Cirkelsymmetrie van de injectie

Het is van belang, dat in iedere vorm evenveel kolen ingebracht worden. De cirkelsymmetrie van de injectie wordt in verschillende KI-systemen verschillend opgelost. Er zijn systemen, die gebaseerd zijn op cellenradsluizen per 1 of 2 lansen. In het Armco systeem wordt de verdeling gerealiseerd door een horizontaal geplaatst verdeelvat, waarbij de installatie zodanig is ontworpen, dat de drukval over alle leidingen precies gelijk is. Dit heeft het grote voordeel van weinig kleppen e.d. in het systeem. De cirkelsymmetrie van de injectie is de eerste jaren van bedrijf regelmatig gecontroleerd en blijkt binnen ca 5% goed.

Een belangrijke afwijking van symmetrische verdeling van KI over de oven treedt op, als een van de lansen van kolen valt, bijvoorbeeld door verstopping. In het voorbeeld uit paragraaf 4.1 neemt de productiesnelheid achter een lans zonder KI sterk toe; in dit voorbeeld neemt de productiesnelheid toe met 90% als de koleninjectie in de betreffende vorm stopt (met $340/180-1=90\%$!). Vandaar dat we niet licht mogen tillen aan vormen zonder KI, speciaal als er ook nog vormen naast elkaar zonder KI staan.

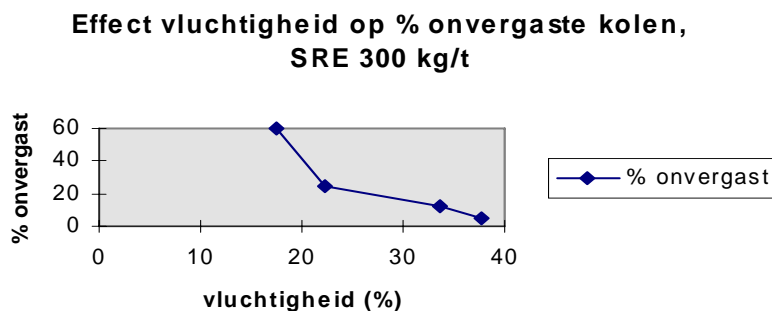
3.3.3 Kolenvergassing

Vergassen van kolen vindt plaats in twee stappen. Stap 1 is dat het koolstofskelet bestaande uit zogenaamde materialen, wordt gebroken in steeds kleinere deeltjes; uiteindelijk resulteren atomaire radicalen; deze radicalen - atomen met "vrije" elektronen verbinden zich weer tot verbindingen als CO en H₂.

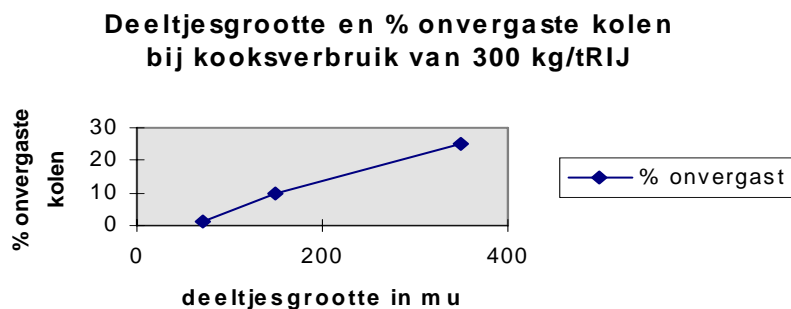
De belangrijkste invloeden op de kolenvergassing zijn gemeten met een proefopstelling, waarbij een "raceway" is gesimuleerd in het laboratorium; na enige tijd injectie van kolen in een kooksbed is vervolgens de hoeveelheid onvergast materiaal bepaald; de onderstaande resultaten komen van deze proeven. De belangrijkste invloeden zijn:

- de soort injectiekolen: hoe hoger de vluchtigheid, des te sneller vergassen de kolen; zie hiervoor figuur 3.10
- de grootte van de kolendeeltjes: hoe grover de deeltjes, des te langzamer deeltjes in de raceway vergast worden. Dit wordt geïllustreerd in de onderstaande figuur, waarvoor hoog vluchtige Amerikaanse injectiekolen zijn gebruikt.

Figuur 3.10: invloed vluchtigheid op kolenvergassing.



:



Figuur 3.11: invloed deeltjesgrootte op kolenvergassing

- de menging van de kolen en de wind; zie als voorbeeld de "vulpenlans" in 3.9.

- het koleninjectieniveau (de zuurstof/wind verhouding in de wind). Hoe hoger de KI hoe meer onvergast materiaal de raceway verlaat.

Verder is gevonden, dat de grens van raceway en dode man relatief meer fijn materiaal bevat bij hoge koleninjectie. Een aantal buitenlandse bedrijven beladen de oven voor een stilstand dan ook met een "all coke" moller om deze restanten fijn zoveel mogelijk te verwijderen. Er is zelfs een bedrijf dat tijdens een stilstand de fijne fractie probeert weg te branden met een zuurstoflans.

Bij hoge injectieniveaus is waargenomen, dat de drainage van slak naar de haard bemoeilijkt wordt. In de loop van de tijd is daarom de stilzetprocedure aangepast dwz vertraagd. De oorzaken van deze moeilijker slakdrainage kunnen gezocht worden in:

- slechter permeabel cokes bed onder de vormen, omdat daar ook fijn materiaal aanwezig is;
- koudere slak, die moeilijker vloeibaar is; niet alleen vanwege het "verkoelend" effect van de directe reductie van FeO bevattende slak, maar ook omdat door koleninjectie de temperaturen vlakbij de vorm relatief laag zouden kunnen zijn.
- In de literatuur wordt gewezen op het effect, dat opnemen van kooldeeltjes in slak de viscositeit van de slak sterk zou verhogen.

3.3.4 Processturing met koleninjectie

3.3.4.1 Sturing van de te injecteren hoeveelheid kolen

Omdat ca 40% van de reductiemiddelbehoefte van de hoogoven wordt geleverd door KI, is het van groot belang de hoeveelheid kolen per ton ijzer constant te houden. In de doseertanks van de KI wordt met de stikstofdruk de uitstroomsnelheid van de kolen geregeld; de druk in de KI wordt aangestuurd. Die druk wordt afgeleid uit een kolenbehoefte in gr kolen/NM3 wind; maar wij stellen in een hoeveelheid kolen in kg/tRIJ. Om de sturing goed te laten verlopen moeten dus kg/tRIJ omgerekend worden naar gr/NM3 wind.

Daartoe wordt de productiesnelheid steeds uitgerekend middels de zogenaamde productieformule; de productieformule is in beginsel als volgt opgebouwd:

productie= ton/min= (zuurstofinput in raceway) / (zuurstofverbruik/ton). En de hoeveelheid te injecteren kolen is dan: productie*setpoint KI

Op deze regeling zitten dan verschillende verfijningen:

- de Si-schakelaar: een automatische correctie voor afwijkingen van de productiesnelheid t.g.v. wisselingen in de directe reductie;
- de x-factor: het vermeerderen (verminderen) van de KI wegens afwijkende thermische condities;
- de E-factor: de factor waarmee de berekende en werkelijke productiesnelheid gelijk geregeld worden. Deze varieert met kolensoort of zelfs kolenboot.

De hoeveelheid kolen per Nm³ wind kan met behulp van de productie in ton/min en de hoeveelheid wind uitgerekend worden.

3.3.4.2 Sturing van de warmtebehoefte: smeltwarmte

De bovengenoemde sturing heeft alleen betrekking op het constant houden van de te injecteren hoeveelheid kolen per ton ruwijzer. Er is nog een effect, namelijk de warmte die nodig is in de raceway om de lading te smelten.

De **benodigde "smeltwarmte"**, dat is de "voelbare" warmte die nodig is met een temperatuur >1400°C. Deze is afhankelijk van:

- de voorreductie van de lading; als er veel ongereduceerd (FeO) materiaal is, dan neemt de directe reductie toe en is de warmte behoefte groter;
- de warmte-overdracht naar het smeltende erts: als er dikke schollen naar beneden komen zal de efficiëntie van de warmteoverdracht geringer zijn dan als de lading in dunne lagen geleidelijk smelt; hierbij is er een relatie met de belading van de oven en ook met de hoeveelheid fijn materiaal (<5 mm), die in de oven geladen wordt of tijdens het reductieproces ontstaat.

De **beschikbare "smeltwarmte"** is afhankelijk van:

- de hoeveelheid vormgas per ton ijzer;
- de temperatuur van het gevormde gas: de vlamtemperatuur.

De vlamtemperatuur wordt op zijn beurt weer bepaald door de kolenhoeveelheid, kolensoort, zuurstofverrijking en overige windcondities (zie paragraaf). Een belangrijke invloed vanuit de kolen komt uit de zgn. "kraakwarmte": dat is de warmte die nodig is om de structuur van de kolen te breken; ook kost het warmte het resterende vocht in de kolen vrij te maken en te ontleden in H₂ en CO.

De sturing van de smeltwarmte is gebaseerd op ervaringen en verkeert nog in een ontwikkelingsstadium. Er is tot op heden vooral gelet op de vlamtemperatuur. Bij hoogvluchtige kolen draagt de waterstof in de kolen aanzienlijk bij aan de gashoeveelheid.

Een aparte opmerking verdient het gebruik van extra kolen. Door extra kolen op de oven te zetten neemt de productiesnelheid af en wel als volgt: met 10 kg/t extra kolen neemt de productiesnelheid met ca 2,5% af (reken na!). Maar tegelijk neemt ook de vlamtemperatuur af en wel met 32 °C; dit laatste is afhankelijk van het type injectiekool. Stel, dat in de uitgangssituatie de vlamtemperatuur 2050°C is, dan neemt de beschikbare smeltwarmte af met $(32/(2050-1400))= 5\%$, terwijl de productie maar met 2,5% afneemt. Zijn we in een situatie met tekort "smeltwarmte", dan verergeren we de situatie van de koude oven.

3.3.4.3 Sturing doorgassing

Door kooks in de lading te vervangen door sinter/pellet/stukerts neemt de weerstand van de lading voor gasstroming toe. Uit onderzoek is gebleken, dat de weerstandstoename met name ook komt vanwege de hoge toptemperatuur en het daarbij behorende hoge gasvolume in de bovenoven. Corus IJmuiden is in de gunstige situatie, dat met behulp van de zuurstofverrijking de toptemperatuur geregeld kan worden naar een gebied van 110-130 °C.

Bij hoge koleninjectie speelt aan de ene kant, dat de toptemperatuur niet te laag mag zijn. De lading moet voldoende snel "droog" zijn; als het punt van "droog zijn" te laag in de oven komt, dan wordt de reactieruimte voor de directe reductie te klein en krijgen we ongereduceerd (lees koud) materiaal voor de vormen. Dit kan leiden tot beschadiging van de vormen. Aan de andere kant mag de toptemperatuur niet te hoog zijn, want dan is er een hogere ladingweerstand en is de maximaal door de oven te blazen gashoeveelheid kleiner, waardoor de productie zal afnemen. Daarnaast neemt de stofproductie toe.

Daarom zijn zowel toptemperatuur als "droogcapaciteit", gemeten aan de lansen in de lading, van belang om het goede evenwicht te bereiken.

Voor de beladingverdeling verwijzen we naar hoofdstuk 5; de methoden van Corus IJmuiden zijn juist ontwikkeld voor de hogere koleninjectie.

3.3.5 Voor- en nadelen van koleninjectie

Het voordeel van koleninjectie is vooral, dat dure kooks wordt vervangen door goedkope kolen en zuurstof. Ruwweg levert 20 kg/t injectie extra ca 1 Euro/t lagere grondstofkosten; daarvan moeten dan alle kosten inclusief de rente en afschrijving van de koleninjectie betaald worden. Vergeleken met de situatie van olie injectie, van zeg 350 kg/t KVB en 100 kg/t olie-injectie, zijn afhankelijk van de stookolieprijs, zeer grote voordelen te behalen.

Hoge koleninjectieniveaus vragen echter een goede sturing van de doorgassing; daarbij is steeds gevonden, dat het nodig is om een steilere smeltzone in de oven te vormen, waarbij in IJmuiden een ertsvrij centrum wordt gecreëerd. Het gas dat door deze kookskolom heen loopt draagt niet bij aan reductie of opwarmen van de lading en moet als een "verliespost" worden beschouwd.

Een ander aspect van hoge koleninjectie is, dat de oven gevoeliger wordt voor afwijkingen van de cirkelsymmetrie van het proces: daarbij gaat het niet alleen om de symmetrie van de belading, maar ook om de wind- en kolenverdeling op het niveau van de vormen.

Door de steilere smeltzone is de sturing van de oven kritischer geworden. In het hart van de oven is een gasstroom met hoge temperatuur en ook een relatief hoge gassnelheid; deze brengt het risico van gasjets door het hart van de oven met zich mee; in het hart van de oven kunnen gassnelheden tot kooks fluidisatie leiden. Dit fenomeen doet zich vooral voor, als de oven onvoldoende goed wordt

afgetapt; dan ontstaat van onder uit kanaalvorming in de oven. Een apart gevolg van de hoge temperaturen in het hart van de oven is, dat er relatief veel alkaliën door het centrum van de oven worden afgevoerd. Ook neemt het gas stof mee, dat in stofzak en waterreiniging weer wordt gevangen. Bij hoge koleninjectieniveaus is geconstateerd, dat er in de waterreiniging roetachtig materiaal terecht kwam; roet is een kraakprodukt van injectiekolen. De verdere ontwikkeling van de kolenlansen is erop gericht dit laatste te verminderen.

De steilere smeltzone leidt er ook toe, dat de onderkant van de smeltzone dichtbij de vormen kan komen te liggen; dit kan op zich weer aanleiding zijn tot een relatief hoog vormenverlies en/of duikende vormen.

3.4 Kleine kooks

Bij het afzeven van kooks bij de kooksfabrieken en bij de hoogovens ontstaat zogenaamde "kleine kooks". Dat is kooks van 12 - 35 mm. Deze kleine kooks gebruiken we in de hoogoven gemengd met erts. De ervaring is, dat kleine kooks gewone kooks 1:1 vervangt tot een niveau van een inzet van 50 kg/t.

Waarop berust de werking van de kleine kooks?

1. Kleine kooks gemengd met erts komt als eerste in contact met het smeltende erts; dat betekent dat de kooks nodig voor de directe reductie (zie hoofdstuk 4) al direct in de ertslaag aanwezig is en we denken dat de kleine kooks vooral gebruikt wordt voor directe reductie;
2. Door kooks te mengen in de dikste ertslagen (dwz aan de wand) wordt de warmtebehoefte om de lading te smelten beperkt en zullen we minder last hebben van schollen voor de vormen en lekke blaasvormen;
3. Mogelijk worden de dikke ertslagen ook beter "breekbaar", waardoor ook nog een beter zakgedrag in de oven ontstaat.

Hoofdstuk 4

Theorie van het hoogovenproces.

Inleiding.

In hoofdstuk 1 is al aangegeven, dat het hoogovenproces beschreven kan worden als het smelten van de lading door de hitte van het gevormde gas en door het verloop van alle chemische reacties die in de hoogoven plaatsvinden. In dit hoofdstuk gaan we eerst weer in op het smelten van de lading en vervolgens op de chemische reacties. Dit leidt uiteindelijk tot de stof- en warmtebalansen, die schematisch in paragraaf 4.6 zijn opgenomen.

4.1. Wat is productiesnelheid?

Een hoogoven produceert ijzer omdat kooks en kolen met hete wind vergassen en warmte genereren. Het gevormde gas en de warmte worden gebruikt om lading te smelten en de chemische (reductie) reacties te laten verlopen. De lading smelt en passeert het denkbeeldige vlak door het hart van alle vormen. De kooks vergast (of beter oxideert tot CO) en verdwijnt zo. De drijvende kracht voor de productie van ijzer is het vergassen van kooks. Gegeven een vaste hoeveelheid kooks en kolen per ton ijzer, dan is de productiesnelheid evenredig met het aantal laagjes kooks dat per tijdseenheid voor de vormen vergast met daaraan gekoppeld het aantal laagjes erts dat uit moet smelten.

Hoe meer wind of zuurstof des te hoger is de productiesnelheid. Verhoog je op moment X de koleninjectie dan neemt de productiesnelheid evenredig af.

Een eenvoudig voorbeeld.

Kooksverbruik	300 kg/t	SRE	300 kg/t
kolenverbruik (vervangingswaarde 0,9)	200 kg/t	SRE	<u>180 kg/t</u>
		Totaal SRE	480 kg/t
nodig voor opkolen (uit kooks)		SRE	50 kg/t
nodig voor directe reductie (uit kooks)		SRE	<u>90 kg/t</u>
vergast voor de vormen			340 kg/t
waarvan	kolen 180 kg SRE kooks 160 kg SRE		

Zetten we 10 kg kolen/t extra op de oven dan vergast er per tijdseenheid 10 minder kooks.
340

De productie neemt af met 3%

4.1.1. Het smelten van de lading: smelttemperatuur en smeltwarmte

Teneinde in de haard een temperatuur te krijgen waarbij het ijzer en de slak zeker gesmolten zijn en een goede vloeibaarheid (viscositeit) hebben, moet ergens in de oven warmte ontstaan met een nog hogere temperatuur. De enige mogelijke plaats is de raceway voor de vormen. Het is duidelijk dat er een ondergrens bestaat voor de temperatuur in de raceway: de temperatuur die nodig is om ijzeroxiden en slak te smelten. Maar er is ook een bovengrens: bij hoge temperaturen in de raceway wordt het daalgedrag van de lading verstoord. Dit laatste wordt veroorzaakt door het eerste stadium van de slakvorming; bij een hoge temperatuur in de raceway ontstaat er een groot temperatuursverschil over een kleine afstand in de onderoven. Dan begint de lading te smelten voordat het ijzer voldoende gereduceerd is; dit leidt tot een primaire slak bestaande uit veel FeO en CaO, MgO, Al₂O₃ en SiO₂, die bij circa 1200° C smelt.

Dit smeltniveau wordt sterk door het FeO aandeel bepaald. Als de reductie van FeO naar Fe te snel verloopt en de smelt is nog onvoldoende verhit, dan kan de smelt weer vast worden. Hierdoor gaan componenten van de lading aan elkaar kleven. Dit bemoeilijkt het regelmatig zakken van de lading.



De primaire slak is sterk basisch, omdat een deel van de SiO_2 , die voor een goede vloeibaarheid van de slak zorgt, pas later in de slak wordt opgenomen.

Bovenstaande gaat vooral op voor onze hoog basische sinter.

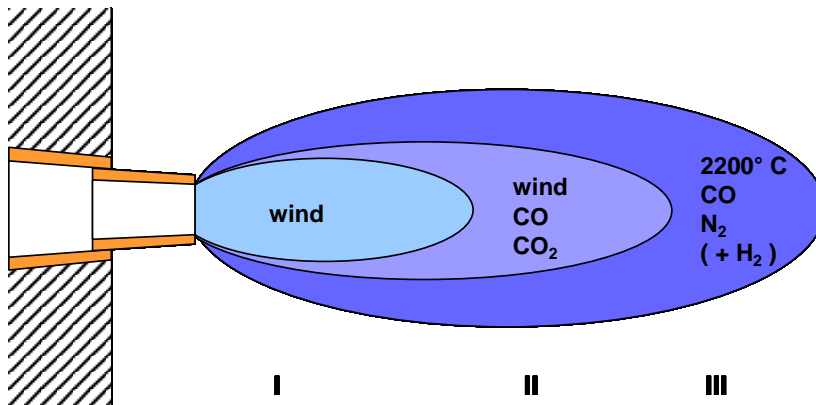
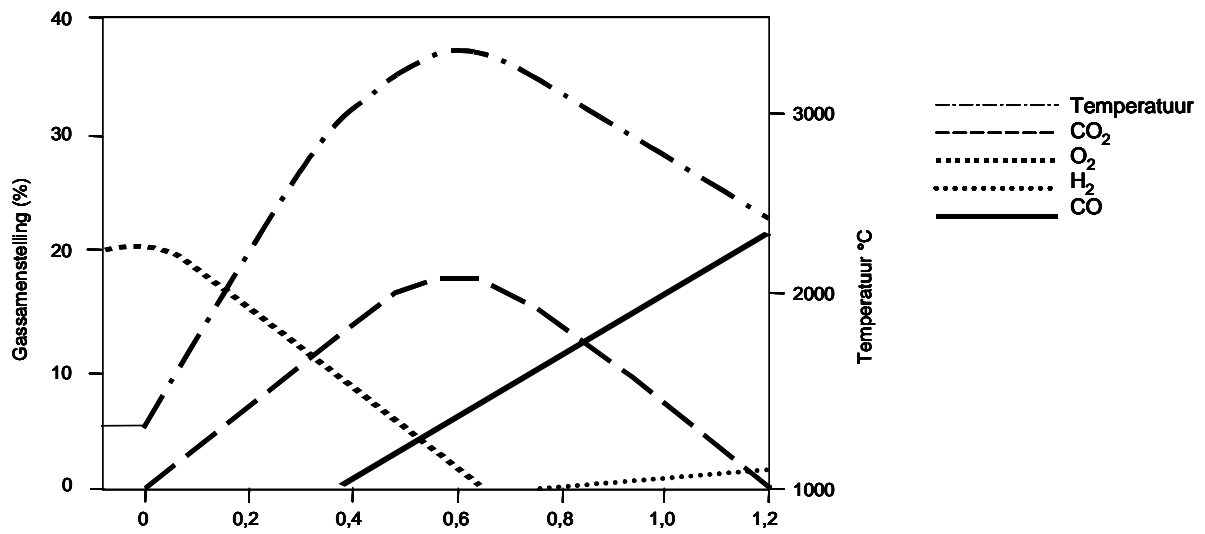
Betrouwbare temperatuursmeting in de raceway is bijna niet mogelijk en derhalve wordt de temperatuur berekend als "adiabatische vlamtemperatuur", kortweg vlamtemperatuur. (Je moet je realiseren dat de vlamtemperatuur een berekende grootheid is.)

Bij de berekening van de vlamtemperatuur wordt ervan uitgegaan dat er een (fictieve) grens om de raceway wordt getrokken, waarin de voorverwarmde lucht, kooks en de geïnjecteerde koolstofbrenners in de goede relatieve verhoudingen reageren tot met name CO waarbij tevens uit waterdamp en injectiekolen H_2 ontstaat.

De vlamtemperatuur is dan het resultaat van de berekening, waarbij de reaktiewarmte van de vergassing van kooks/kolen plus de warmte van de kooks en van de hete wind, min de warmte die nodig is om vocht te scheiden in H_2 en O, volledig wordt geabsorbeerd door het gevormde gas. In werkelijkheid gebeurt dit niet en de berekende vlamtemperatuur is tientallen graden hoger dan de temperatuur in de raceway. Ieder bedrijf heeft zijn eigen formule voor de vlamtemperatuur, omdat bepaalde gegevens moeilijk te bepalen zijn. In paragraaf 6.5.2. is de hoogovenformule opgenomen. Die geeft ook aan welke wijzigingen er optreden bij verandering van de hetewindtemperatuur en het injectienivo.

In de praktijk wordt voor de gewenste vlamtemperatuur een temperatuursgebied gevonden, dat samenvalt met een goed, regelmatig proces. Procesveranderingen in één variabele worden vervolgens gecompenseerd door veranderingen in een andere variabele, zodat de vlamtemperatuur in het gewenste gebied constant blijft. Om een voorbeeld te geven, denk eens aan kolen- of olieinjectie. Het belangrijkste voordeel van deze praktijk is, dat de hoeveelheid kooks, nodig voor de productie van 1 ton ijzer, lager wordt; dit leidt tot een grotere erts / kooksverhouding en indirect tot een wat hogere produktiviteit. Bovendien zal de aanwezigheid van meer waterstof in het reductiegas de gas / ertsreactie bevorderen. Het kost, ongeacht welke injectiemateriaal we gebruiken, veel warmte om dit op temperatuur te brengen en om het te "kraken", d.w.z. de structuur van kolen of olie te verbreken. De vlamtemperatuur wordt hierdoor lager en derhalve kan de hetewindtemperatuur hoger worden.

figuur 4.1



- I Oxyderend (overmaat O₂)
- II Evenwicht O₂, CO en CO₂
- III Reducerend CO₂ → 2CO

Een alternatief is dat de verlaging van de vlamtemperatuur wordt gecompenseerd door extra injectie van zuurstof. Als zuurstof wordt geïnjecteerd, wordt het gasvolume per ton ijzer dat de raceway verlaat, kleiner; de totale warmte moet dus door minder gas worden opgenomen. Als rekenvoorbeeld:

met gewone lucht = 21% O₂ absoluut

50 volumedelen O₂ produceren

100 volumedelen CO

hierbij is aanwezig: $\frac{79}{21} \times 50$

188,1 volumedelen N₂

Totaal

288,1 volumedelen

met 1% O₂ verrijking = 22% O₂ absoluut

50 volumedelen O₂ produceren

100 volumedelen CO

hierbij is aanwezig $\frac{78}{22} \times 50$

177,3 volumedelen N₂

Totaal

277,3 volumedelen

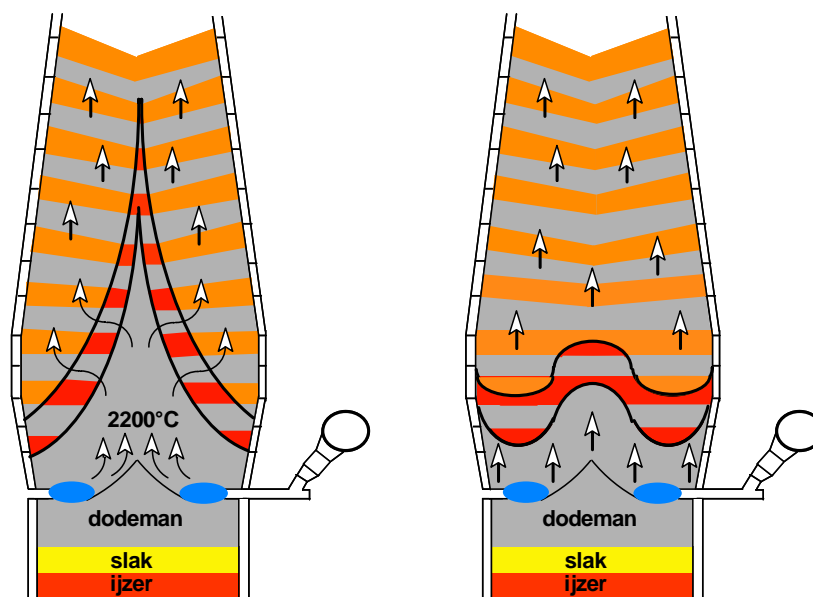
Overigens heeft ook verlaging van H₂O-injectie een vergelijkbaar effect.

Vlamtemperatuur is een begrip, maar je moet je goed realiseren, dat de hoeveelheid warmte die nodig is om 1 ton ijzer (en de bijbehorende slak) uit te smelten, niet alleen afhangt van de vlamtemperatuur maar ook van de hoeveelheid gas die gemaakt wordt per ton ijzer.

Neem aan dat de smeltwarmte komt uit het traject tussen de vlamtemperatuur en het punt waar het gas afgekoeld is tot 1500° C. (ijzertemperatuur) Meer zuurstof leidt tot een hogere vlamtemperatuur maar ook tot minder gas per ton ijzer.

4.2. Doorgassing van de hoogoven.

De efficiëntie van het hoogovenproces hangt er ondermeer vanaf hoe weinig warmte en energie er verloren gaat. Warmte verdwijnt ondermeer als koelverlies en als topgastemperatuur, energie verdwijnt ook in de vorm van ongebruikte chemische energie (CO en H₂). Voor de efficiëntie van het proces is de doorgassing van groot belang. Er zijn twee "types" van doorgassing; een "mittelgängige" oven en een "randgängige oven. Zie figuur 4.2



mittelgängige oven

randgängige oven

figuur 4.2.

In het eerste geval gaat de gasstroom vooral door het hart van de oven; de smeltzone neemt dan een omgekeerde V- vorm aan; in (Duitse) hoogoventerminologie heet dit een mittelgänglich bedreven oven. In het tweede geval gaat de gasstroom voor een groot deel langs de wandzone en ontstaat er een smeltzone met een W- vormig profiel. We noemen dit een randgänglich bedreven oven. Met behulp van de belading van een hoogoven kan het doorgassingspatroon ingesteld worden (zie hiervoor paragraaf 5.4).

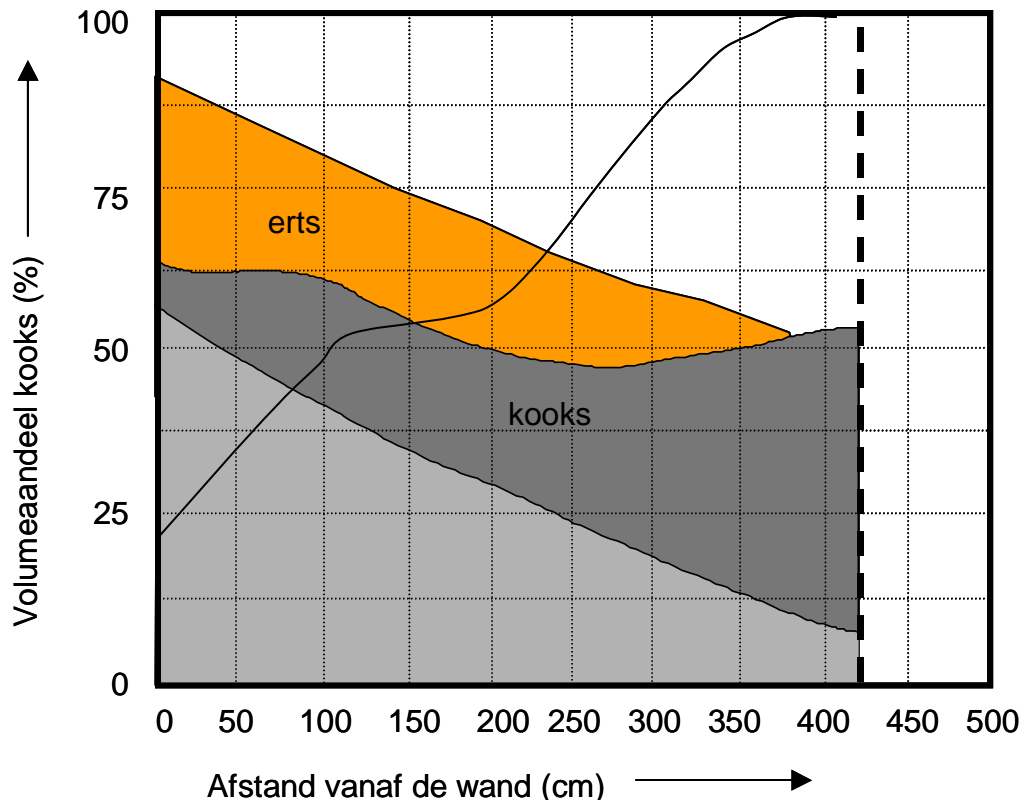
4.2.1. Mittelgängige oven

De gasstroom wordt naar het hart geleid door een grote hoeveelheid kooks naar het hart te brengen, eventueel aangevuld met grove ertsdelen. Bij ovens met klokkentop/slagpantser wordt de kookshoeveelheid naar het hart gebracht m.b.v. de z.g.n. kooks-push; de op de kookslaag vallende ertslaag schuift de grootste kooksbrokken naar het hart van de oven. Voor beladingsvoorbeeld zie figuur 4.3.

Er wordt relatief weinig heet gas langs de wand geleid. Dat betekent, dat in de wandzone de erts laag boven de vormen worden afgesmolten, de wortel van de smeltzone bevindt zich in de rust. In het hart van de oven ligt de smeltzone veel hoger; dit leidt tot de omgekeerde V- vorm of zelfs als er een echte kookskolom in het hart staat, tot een omgekeerde openstaande U- vorm. Met behulp van de hoeveelheid kooks in het hart kan het proces heel fijnzinnig bijgestuurd worden.

Een risico van de mittelgänglich bedreven oven is, dat het erts niet volledig genoeg is afgesmolten als het voor de vormen terecht komt. Dit kan gebeuren als er bijvoorbeeld een te dik ertspakket aan de wand gelegd wordt. Als voor dat te dikke ertspakket niet voldoende warmte uit het gevormde gas beschikbaar komt, daalt de smeltzone aan de wand. Het eerste wat we dan te zien krijgen zijn brokken voor de vormen, we krijgen een onregelmatige ruwijzerkwaliteit en tenslotte krijgen we in de meest extreme situatie z.g.n. "gedoken" vormen en als het plotseling gebeurt een zeer koude oven. Het risico van een te lage wortel van de smeltzone moet bewaakt worden door:

- te zorgen voor een voldoende hoog kooksaandeel aan de wand m.b.v. de belading.
- te zorgen voor een zekere mate van gasstroom langs de wand; dit is te zien aan koelverliezen in kolenzak/onderschacht.
- te zorgen voor een niet te overmatige gasstroom door het hart van de oven; de hetewinddruk mag niet te laag worden en de gasbenutting mag niet "instorten" of zeer laag worden.



figuur 4.3.

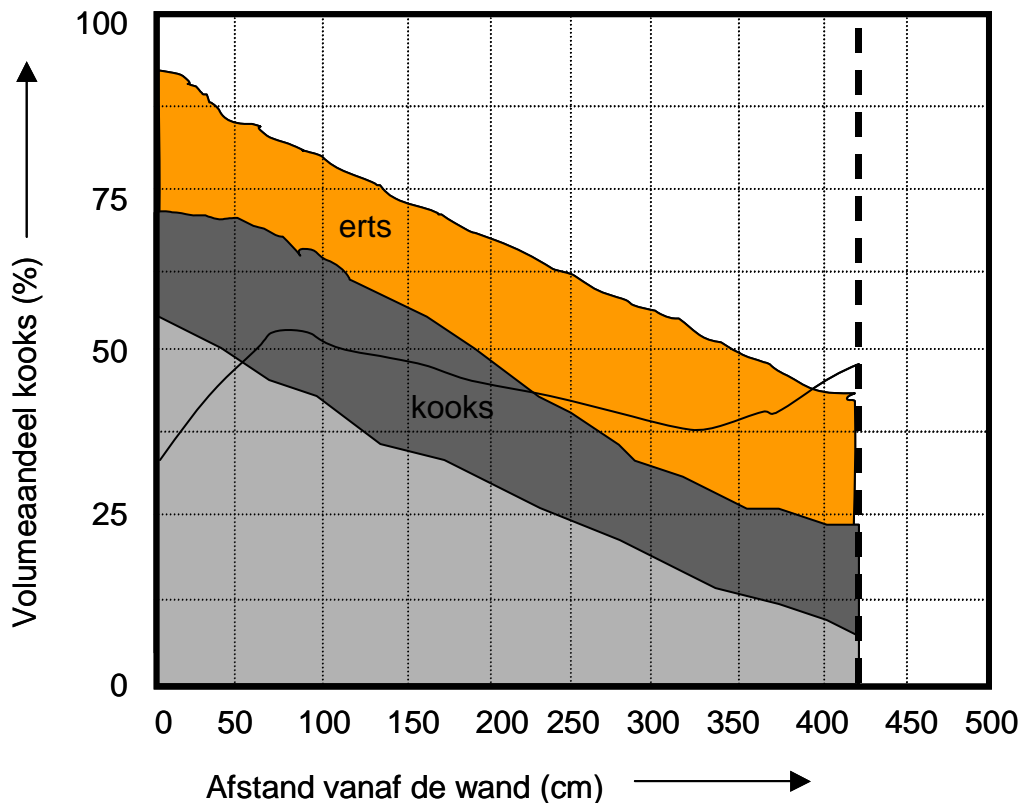
Een middelgängig bedreven oven levert zeer goede procesresultaten, ruwijzerkwaliteit, kooksverbruik, doorlaatbaarheid, zakgedrag en lage koelverliezen. Dit vertaalt zich naar een lange campagneduur van de hoogovens.

Het proces is zeer gevoelig voor verstoringen in grondstofkwaliteit, aftappraktijk, installatiewerking en constantheid van procesinstellingen.

4.2.2. Randgängige oven

Bij de randgängig bedreven oven wordt het gas in overmaat langs de wand geleid. Dit wordt veroorzaakt doordat in het hart van de oven een aanzienlijke hoeveelheid erts terecht komt. Dit erts verweekt en smelt in het hart en het "smeltende" erts blokkeert de gasstroom door het hart. Het gas zoekt dan een andere uitweg en wel via de wandzone (zie voor beladingsvoorbeeld figuur 4.4). De smeltzone krijgt een W- vorm of zelfs de vorm van een koek met opstaande randen. In deze situatie is de oven veel minder gevoelig voor verstoringen van de installatie, wijzigingen van grondstofkwaliteit e.d., maar is het SRE-verbruik relatief hoog omdat het reductiegas snel aan de wand afkoelt tot temperaturen waarbij het zijn reducerende werking niet meer heeft. Bovendien is er een enorme warmtebelasting van de wand, vooral in het gebied bovenkant kolenzak / onderschacht. Deze bedrijfsvoering leidt tot hoge koelverliezen, slijtage en korte campagnes.

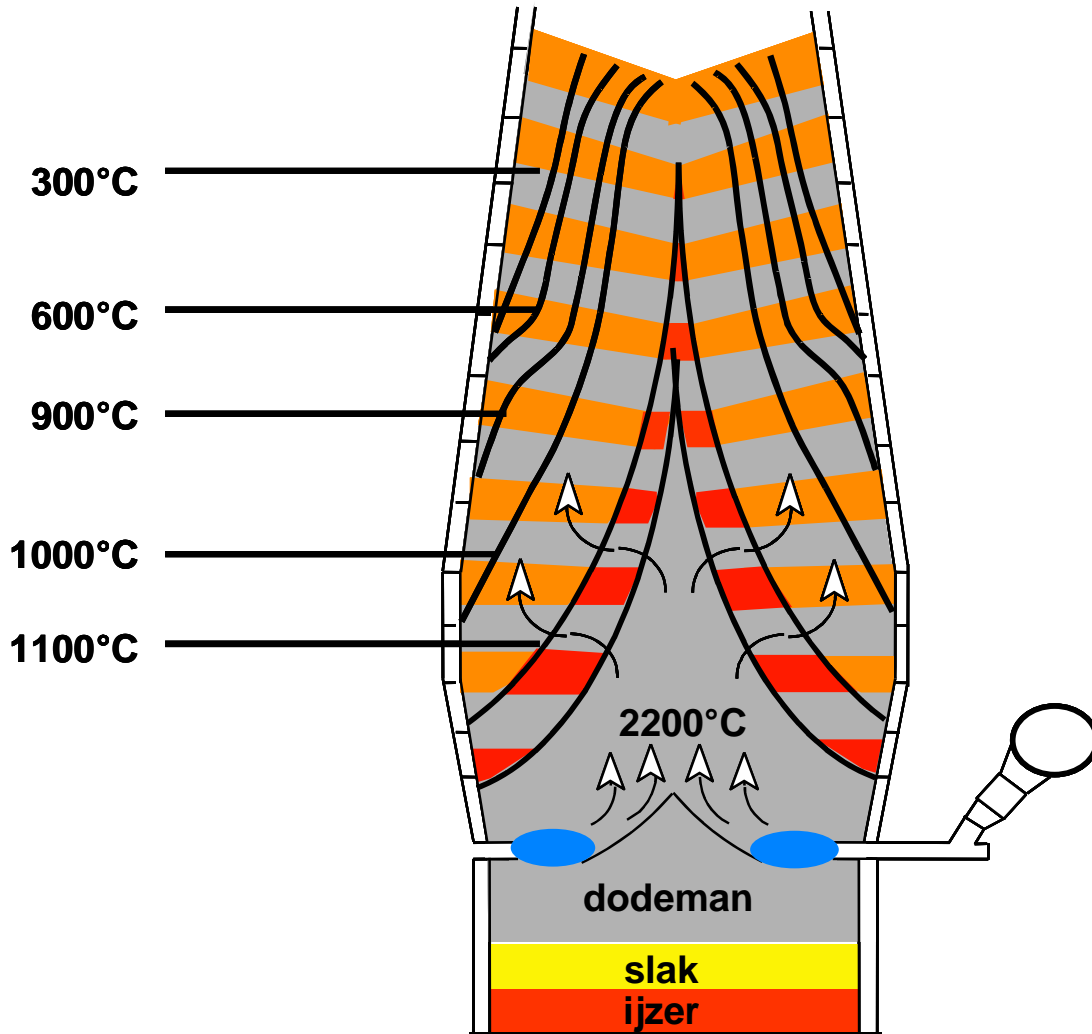
figuur 4.4.



4.2.3. Gemeten temperatuursprofielen in de hoogoven.(mittelgängig proces)

In figuur 4.5 staat het gemeten temperatuursprofiel bij HO 6; duidelijk is de bovenkant van de smeltzone te zien (isotherm 1100°C) die in het hart heel hoog ligt.

figuur 4.5



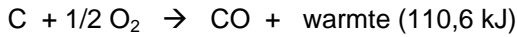
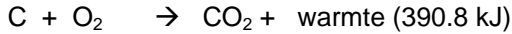
In het wandbereik is de lading tot een aantal meters beneden het ladingoppervlakte koud; er kunnen dan geen reducerende reacties plaats vinden. Bij de gepresenteerde metingen werd pas ca. 8 meter beneden het ladingsoppervlakte in de wandzone een temperatuur van 600° C. gemeten. De gasreductie vindt pas plaats vanaf (effectief) 550° C.

4.3 Chemische reacties van koolstof en ijzer in de hoogoven

In de hoogoven komen ijzer (Fe), ijzeroxides (FeO , Fe_3O_4 en Fe_2O_3), koolstof (kooks en kolen) en zijn oxides (CO en CO_2) voor. En dit allemaal bij verschillende temperaturen. Daarom is het van belang te begrijpen hoe ijzer en koolstof en hun oxides met elkaar in evenwicht zijn.

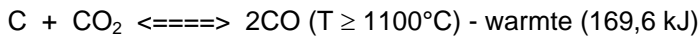
4.3.1. Koolstof en zijn oxides.

Kooks en injektiekolen bevatten zo'n 75 à 90 % koolstof. Koolstof vormt 2 oxides:

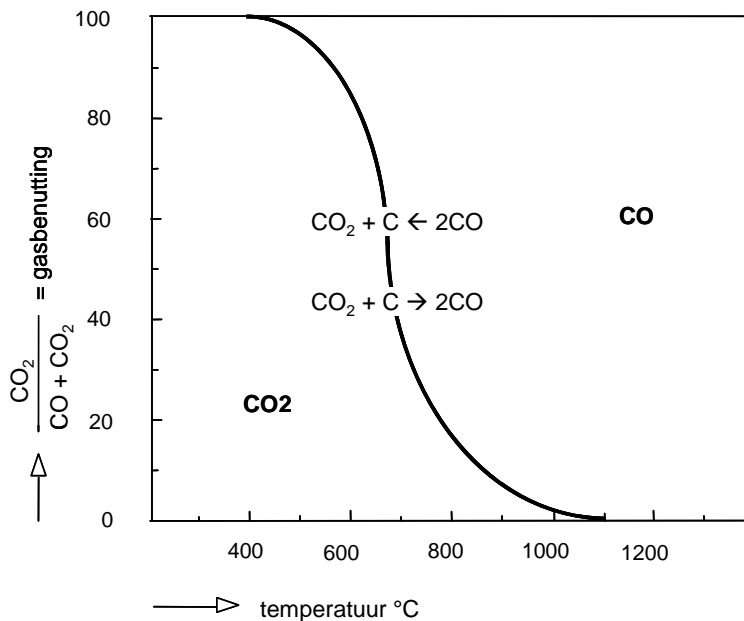


Bij deze reacties komt warmte vrij. Er komt veel meer warmte vrij bij de reactie van C tot CO₂ dan bij de reactie tot CO. Het verschil is ruwweg een faktor 3,5. Het is dus wenselijk zoveel mogelijk CO in CO₂ om te zetten in de hoogoven.

Bij de vormen ontstaat door de vergassingsreacties een temperatuur van 2100° C tot 2400° C. De samenstelling van het gas in de hoogoven wordt in de aanwezigheid van een overmaat aan koolstof mede bepaald door de temperatuur; bij temperaturen boven 1100° C. is alleen CO aanwezig en bij temperaturen onder 1100° C zijn zowel CO als CO₂ aanwezig.



Dit wordt het z.g.n. Boudouard evenwicht genoemd zoals weergegeven in het figuur 4.6 hier onder.



Het Boudouard-diagram van CO / CO₂ in de aanwezigheid van koolstof bij verschillende temperaturen. De lijn geeft het evenwicht aan. Bij een bepaalde temperatuur en druk gaat het evenwicht naar die samenstelling.

Tot temperaturen van 400° C is alleen CO₂ in evenwicht met vaste koolstof, in de hoogoven gebeurt er niets, bij temperaturen tussen de 400° en 1100° C zijn CO en CO₂ beiden ongeveer in evenwicht met vaste koolstof. Boven de 1100° C bestaat er alleen evenwicht tussen CO en vaste koolstof.

In de raceway voor de vormen heersen temperaturen tot 2400° C en dus ontstaat er alleen maar CO. Als we afzien van effecten van olie-, kolen- en stoominjectie, kan de samenstelling van het gas dat de schacht binnenkomt, als volgt berekend worden. Als we beginnen met 100 Nm³ lucht; dan hebben we 21 Nm³ O₂ en 79 Nm³ N₂; de 21 Nm³ O₂ reageert met C tot 42 Nm³ CO; stikstof gaat geen reactie aan (inert).

$$\text{Dus } \% \text{ CO} = \frac{42}{79 + 42} = 34,7\%$$

$$\% \text{ N}_2 = \frac{79}{79 + 42} = 65,3\%$$

Als we de lucht gaan verrijken met 10% zuurstof dan worden de percentages CO en N₂ als volgt:

$$\% \text{ CO} = \frac{42 + 20}{69 + 62} = 47,3\%$$

$$\% \text{ N}_2 = \frac{69}{69 + 62} = 52,7\%$$

Op deze manier kan er voor elk percentage zuurstofverrijking de gassamenstelling die na het reageren met C ontstaat berekend worden.

4.3.2. Reductie van ijzeroxides door vaste koolstof: directe reductie.

De lading, die in de rust komt, is voorverwarmd en gedeeltelijk gereduceerd; de resterende zuurstof moet verwijderd worden door vaste koolstof.

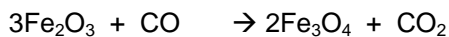


Koolstofreductie is sterk endotherm (d.w.z. kost warmte) en er moet kookgas vergast worden om de gebruikte warmte aan te vullen. Het verbruik van koolstof voor de reductie van ijzeroxides wordt vaak "direkte reductie" genoemd, omdat koolstof direct in de chemische reactie wordt gebruikt. We zullen het hier echter koolstofreductie noemen. We gaan verderop in op de reacties in de onderoven (paragraaf 4.4)

4.3.3. Reductie van ijzeroxides door gas: gasreductie.

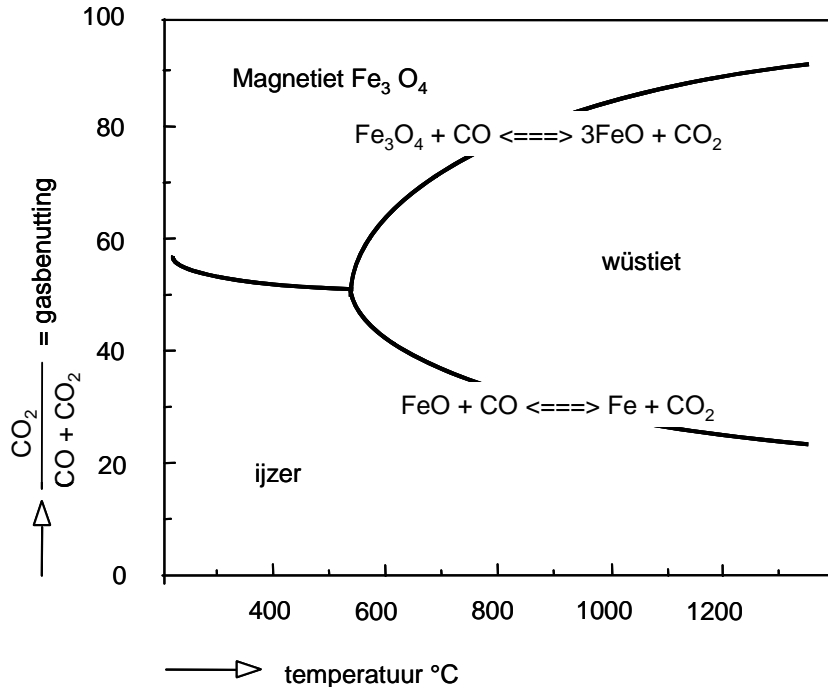
Ijzeroxide wordt trapsgewijs gereduceerd, de eerste stappen gaan heel gemakkelijk. Koolmonoxide is in staat om hematiet tot ijzer te reduceren, waarbij magnetiet en wüstiet als tussenprodukten gevormd worden boven 500° C.

De belangrijkste chemische reacties zijn:



De reacties zijn omkeerbaar en waar het evenwicht wordt bereikt - bij constante druk - hangt alleen af van de temperatuur. Dit is weergegeven in figuur 4.7.

figuur 4.7 Evenwicht tussen ijzer- en koolstofoxides.



De reductie van hematiet naar magnetiet vindt al plaats bij lage CO-concentraties. De reactie is licht exotherm (+ warmte).

Het is mogelijk ijzeroxiden volledig met gas te reduceren tot sponsijzer.



Door de snelheid van het proces wordt dit evenwicht niet bereikt en vindt smelt en daarmee directe reductie plaats.

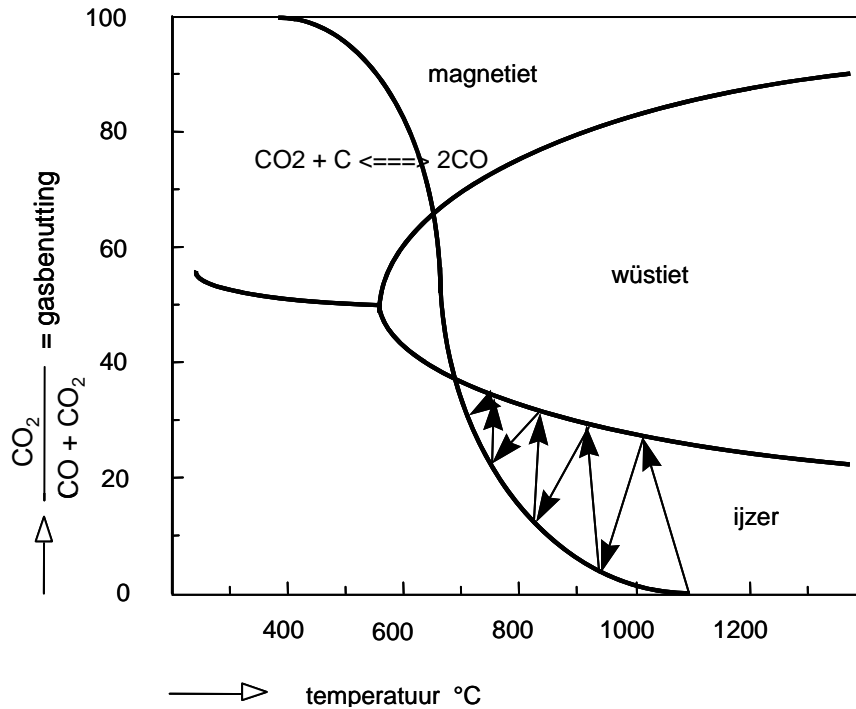
In de hoogovenschaft wordt de reductie beïnvloed door de aanwezigheid van kooks, waardoor de CO-concentratie mede bepaald wordt door de Boudouard-reactie.

- 4.3.4. We gaan na wat het gas meemaakt als het de schacht binnentreedt met een temperatuur van zo'n 1100° C en vervolgens naar boven gaat, terwijl het onderweg de lading verhit en reduceert. De reactie $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} \rightarrow 3\text{FeO} + \text{CO}_2$ verloopt vrijwel geheel in het temperatuursgebied van 1100° C tot 550° C.

De reactie $\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$ vindt slechts ten dele plaats in dit temperatuursgebied. Het restant wordt met vaste koolstof gereduceerd volgens de reactie $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{CO}$.

Deze directe reductie is sterk afhankelijk van de productiesnelheid (omstandigheden en tijd).

figuur 4.8 Evenwichten in aanwezigheid van vaste koolstof.



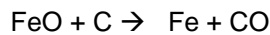
figuur 4.8

In figuur 4.8 zijn het Boudouard-evenwicht en de reductiereacties van ijzeroxides in een figuur getekend. Stel je voor, dat het gas beurtelings met erts en met kooks in aanraking komt. Gas met 100% CO is in staat om het ijzeroxide tot ijzer te reduceren. Als de temperatuur hierdoor daalt, bijvoorbeeld tot 900°C, dan is het gas in evenwicht met FeO bij 70% CO en 30% CO₂. Als het gas vervolgens in contact komt met kooks, kan CO₂ weer omgezet worden in CO; bij 800°C zou het percentage CO weer zo'n 90 bedragen, zodat het opnieuw mogelijk is FeO tot ijzer te reduceren. Beneden de 700°C vindt geen reductie van FeO meer plaats. Deze beschrijving is bedoeld om aan te geven wat er thermodynamisch kan gebeuren en moet niet al te letterlijk worden genomen mede omdat in een hoogoven de aanwezige kooks een sterke invloed heeft.

4.4. Reacties in de onderoven en de haard

4.4.1. Koolstof reductie of directe reductie.

Het smeltend erts bevat nog grote hoeveelheden FeO; normaal gesproken wordt ca. 1/3 van de ertszuurstof via de directe reductiereactie verwijderd:



Globaal reageert er per ton ijzer ca. 400 kg FeO via de directe reductie. Bij een slakvolume van 210 kg/ton bestaat dus meer dan 2/3 van de primaire slak uit FeO. Dit is van groot belang voor de slakvorming, zie paragraaf 6.2.2. Zoals al eerder gezegd in hoofdstuk 1 vindt de directe reductie plaats vanaf temperaturen hoger dan ca. 1050° C.

Het is van belang op te merken, dat de directe reductie van ijzer warmte kost. De koolstof wordt geconsumeerd zonder dat de vergassingswarmte voor de vormen wordt geproduceerd. Een oven, waarin plotseling de directe reductie toeneemt, wordt daarom koud. Ook door brokken die vlak voor de vormen langs komen, waardoor reeds gevormd ijzer weer omgezet wordt tot FeO, wordt de oven koud en de slak zwart (d.w.z. bevat enkele procenten FeO). Op die plekken waar de dikste ertslagen de minste doorgassing hebben, moet het meeste FeO via de directe reductie omgezet worden tot ijzer. In het algemeen is dit tegen de wand of in de buurt van de wandzone.

4.4.2. Overige reductiereacties.

Gelijktijdig met het reduceren van het erts in de hoogoven vinden er nog veel meer chemische reacties plaats. In deze paragraaf wordt ingegaan op de wijze waarop het Si in het ijzer terecht

komt. Het SiO₂, de bron van het silicium, zit in grote hoeveelheden in kooks- en kolenas en in de erts. Per ton ijzer wordt ca. 65 kg SiO₂ (30 kg Si) via de slak en 4 kg Si (8,6 kg SiO₂) via het ijzer met een Si% van 0,4 afgevoerd.

Te veel Si in ijzer is schadelijk voor de levensduur van de convertors in de OSF. Het is dus van het groot belang de gewenste verdeling van Si in de hoogoven zo goed mogelijk aan te leggen. Kortom het aanwezige silicium verdeelt zich tussen ijzer en slak. Welke factoren zijn nu van invloed op die verdeling? We moeten dan de weg volgen die er toe leidt, dat het Si in het ijzer komt. Daarin zijn de volgende stappen te onderkennen:

stap 1. Vorming van SiO-gas voor de vormen.

Toelichting: SiO₂ is chemisch gezien een uitermate stabiele verbinding; er is veel warmte voor nodig om het SiO₂ te ontleden. De eerste ontledingsstap vindt plaats bij een hoge vlamtemperatuur in de raceway; daar wordt SiO₂ ontleedt tot SiO-gas, dat met de gasstroom mee gaat. De reactie is zeer gevoelig voor de vlamtemperatuur; hoe hoger de vlamtemperatuur des te meer SiO-gas er wordt gevormd. De vorming van het SiO-gas is uiteraard ook gevoelig voor het as% van kooks en kolen; hoe lager het as% hoe minder SiO-gas er gevormd kan worden.

Het SiO-gas wordt niet gevormd uit de SiO₂ fractie in de slak, maar uit de hete kooks- en kolenas. Verder reductie van SiO met koolstof opgelost in het ijzer leidt tot $\text{SiO} + \text{C}_{\text{ijzer}} \rightarrow \text{Si}_{\text{ijzer}} + \text{CO}$.

stap 2. Verdeling Si over de ijzer- en slakfase.

In ijzer met een Si percentage 0,4% zit 4,0 kg Si. Dit is 8,64 SiO₂. In de slak zit 32,5% SiO₂. Bij een slakvolume van 200 kg/ton ijzer is dat 65 kg.

Van de totale hoeveelheid Si zit dus 12% in het ijzer en 88% in de slak.

De verdeling van SiO-gas over ijzer en slak hangt af van de "afdruiplengte" van het ijzer; hoe langer het ijzer onderweg is van onderzijde smeltzone tot aan de vormen, des te meer gelegenheid is er om Si op te nemen.

Vandaar ook de relatie tussen kooksinzet (kooksverbruik) en Si; hoe hoger het kooksverbruik, hoe hoger de smelt- en verwekingszone, hoe hoger de temperatuur van het ruwijzer des te langer de afdruiplengte en des te hoger het Si gehalte in het ijzer.

Si in het ijzer is een maat voor de thermische toestand van de oven. We moeten ons daarbij realiseren, dat het Si dat we in het afgetapte ijzer bepalen, een mengsel is van "koud ijzer" (dat met

een korte afdruiplengte in de wandzone wordt gemaakt) en warm, hoog Si ijzer (dat meer naar binnen in de oven wordt geproduceerd).

Ook de ruwijzertemperatuur en het mangaan zijn een indicatie voor de thermische toestand. Mangaan reageert sneller op proceswijzigingen. Dat kan komen doordat het makkelijker reduceert of wellicht doordat "hoog mangaan ijzer" sneller in evenwicht is met "laag mangaan slak". 83% van het mangaan en 12 % van het silicium zitten immers in het ijzer.

stap 3. De reoxidatie van gevormd Si in ijzer tot SiO_2 voor de vormen en in de haard.

Uit de staalbereiding is wel bekend, dat in de eerste minuten van het convertorproces alle Si uit het ijzer wordt verbrand. Als ijzer voor de vormen in contact komt met zuurstof, dan wordt het Si in het ijzer dus snel verbrand. Ook in de haard kan o.i.v. daar aanwezig FeO het Si in het ijzer terug oxideren tot SiO_2 . Vandaar dat bij zwarte slak (FeO in de slak) een laag Si in het ijzer hoort.

Bij het vergassen van de kooks wordt de in de kooks aanwezige zwavel omgezet in CS, SiS en COS door reactie met C, SiO_2 en CO. Zodra de temperatuur van het gas lager wordt, zijn deze verbindingen niet meer stabiel en wordt CaS gevormd door contact met het CaO in de lading; tegelijkertijd lost enige zwavel op in de aanwezige ijzerdruppeltjes. Zwavel komt zo in de haard terecht en wordt met de slak en het ijzer mee afgetapt. Meer dan 90% van de zwavel komt in de slak terecht.

Vrijwel alle P_2O_5 in de lading wordt gereduceerd tot fosfor, dat oplost in het ijzer en bij de staalfabricage weer verwijderd moet worden. Het fosforgehalte van het erts is van groot belang voor de commerciële waarde van het erts.



Andere oxides, zoals SiO_2 en MnO , worden slechts ten dele gereduceerd; dit leidt ertoe dat Si en Mn zich verdelen tussen de slak en het ijzer in de hoogoven.

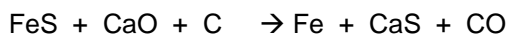


Een aantal factoren beïnvloeden deze verdeling over slak en ijzer; het gaat hierbij onder meer om slaksamenstelling en -temperatuur. Bij toenemende temperaturen verschuiven de evenwichten naar rechts, waardoor in het ijzer een hoger Si- en Mn-gehalte gevonden wordt.

De overige elementen in de ijzerfase zijn zwavel en koolstof. De koolstof lost gemakkelijk in het vloeibare ijzer op en het is waarschijnlijk, dat het ijzer met koolstof verzadigd is; de concentratie koolstof in het ijzer bedraagt 4,5 à 4,7%. Er is geen mogelijkheid om het koolstofgehalte in het ijzer te beheersen.

De beheersing van het zwavelgehalte in het ijzer is van groot belang, omdat binnen een goed lopend hoogovenproces beter en makkelijker ontzwaveld wordt dan bij de staalbereiding in de staalfabriek.

In de hoogoven wordt de ontzwavelingsreactie beschreven door:



Uiteraard kan het ijzer ook buiten de hoogoven ontzwaveld worden: in de menger of in de ruwijzerpan. Hierbij kan men tot lage waarden komen, veel lager dan in de hoogoven mogelijke is.

4.5. Gasreductie of indirecte reductie in de onder oven.

4.5.1. Mechanisme van de gasreductie.

De achtereenvolgende stappen van de reductie van hematiet via magnetiet en wüstiet tot ijzer bij temperaturen boven 550° C zijn goed bekend, voor zover het gaat om de ligging van de evenwichten. De reaktiesnelheden kunnen alleen maar bepaald worden door series gecompliceerde proeven en testen uit te voeren.

De belangrijkste kenmerken van de kinetiek van de ijzeroxidereductie kunnen het best uitgelegd worden aan de hand van het voorbeeld van één enkel brok hematieterts.

In dit vereenvoudigde systeem bestaat de reactie aanvankelijk uit drie stappen:

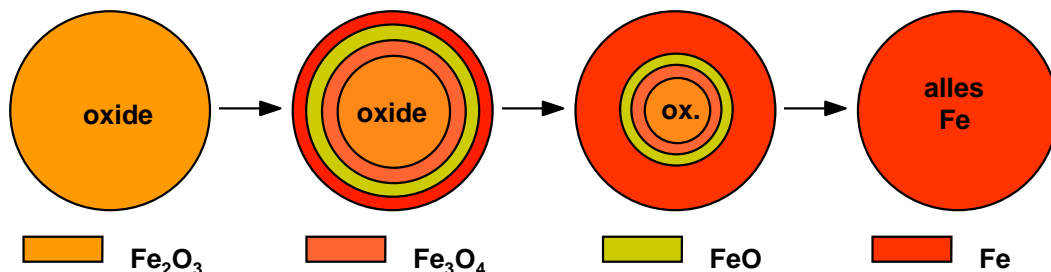
1. transport van gas (CO en H₂) vanuit de gasfase naar het oppervlak van het erts.
2. chemische reacties aan het oppervlak tussen erts en gas.
3. afvoer gasvormige producten (CO₂ en H₂O).

Als de reactie plaatsvindt, wordt het oppervlak van het erts bedekt met een laagje produkt dat poreus is, omdat de gevormde mix van ijzer en ijzeroxides minder volume inneemt dan het oorspronkelijke hematiet. Er zal dan ook transport van het reductiegas door de poriën van de gevormde vaste produkten plaatsvinden.

De verschillende stadia zijn aangegeven in figuur 4.9.a . Er moet ook nog rekening gehouden worden met andere factoren, zoals:

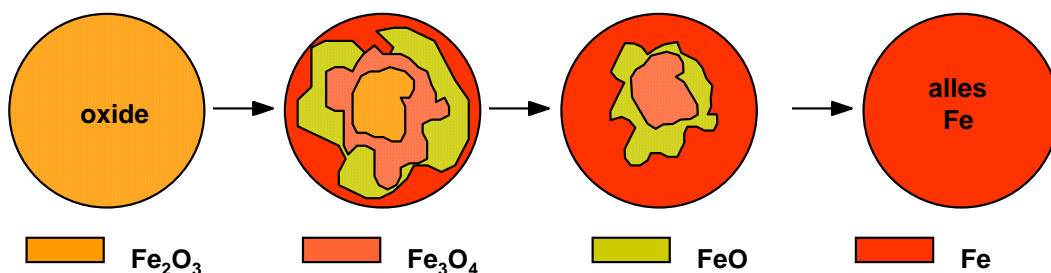
1. Er bestaan tussen hematiet en ijzer nog twee oxides, magnetiet en wüstiet. Dit betekent dat de produktlaag op het erts niet perse homogeen hoeft te zijn en ook dat er meer dan één type reactie tegelijkertijd in een ertsklomp kan plaatsvinden, afhankelijk van de specifieke "porositeit".

figuur 4.9.a. model met meer dan één soort produkt.

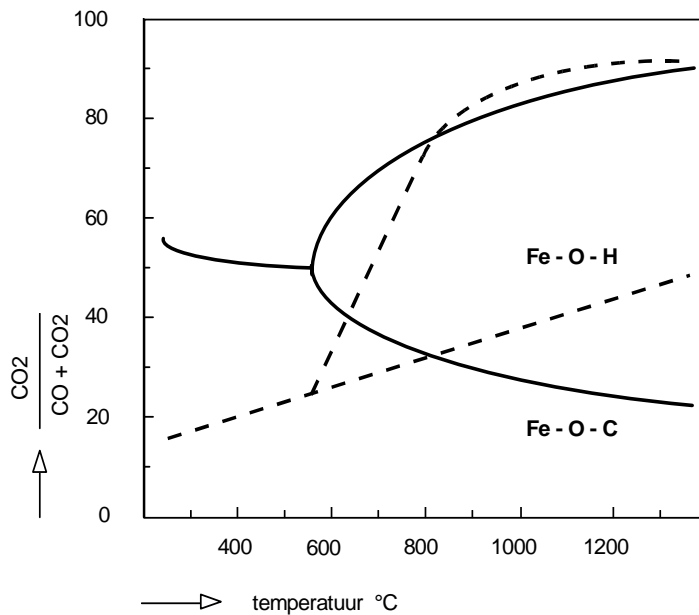


2. Iedere pellet of stukje sinter bestaat uit vele kristallen, die zodanig met elkaar verbonden zijn, dat de structuur niet echt dicht zit, maar poriën bevat, zodat de reacties niet op scherp-bepaalde oppervlakten plaatsvinden, figuur 4.9.b. De porositeit van pellets ligt gewoonlijk in de orde van grootte van 26 - 30%; stukerts en sinter hebben een porositeit van 5 - 20%. Sinter is een produkt met een open structuur. De afstand van buitenzijde tot het midden van de sinter is klein. Dit verklaart deels de goede reduceerbaarheid. Niet alleen de porositeit, maar ook de vorm van de poriën is van belang.

figuur 4.9. b. reductie van poreuze hematiet.



3. De gassenstelling en de aanvoersnelheid van het gas hebben een grote invloed op de reaktiesnelheid. Hoe hoger het gehalte aan CO of H_2 , des te sneller zal het gas het ijzeroxide reduceren. Hoewel waterstofreduktie een vergelijkbaar patroon volgt als koolmonoxide, zijn er toch belangrijke verschillen tussen de twee gassen. Op de eerste plaats reduceert waterstof het ijzeroxide gemakkelijker dan CO bij temperaturen boven $817^\circ C$, terwijl het omgekeerde geldt bij lagere temperaturen. In figuur 4.10 wordt dit toegelicht. Op de tweede plaats zijn de reaktiesnelheden groter met waterstof, waarschijnlijk als gevolg van een grotere diffusiesnelheid van het waterstof en een snellere chemische reactie ten gevolge van de kleinere afmeting van een mol H_2 t.o.v. CO.



figuur 4.10 Fe-C-O- en Fe-H-O- evenwichten.

Verder is de verwijdering van de gevormde gasvormige producten (CO_2 en H_2O) vanuit de reactiezone van belang, omdat deze producten het verdere verloop van de reacties vertragen. Het handhaven van een voldoende reducerend gas in de reactiezone is afhankelijk van de stroomsnelheid van het gas.

4. Temperatuur is van groot belang, omdat een hogere temperatuur een grotere beweeglijkheid van de atomen geeft en dus ook een grotere reaktiesnelheid. Daarentegen beïnvloedt de temperatuur de porositeit, zowel van de oxides als van het ijzer. In het algemeen geldt dat bij hogere temperatuur minder poriën in het wustiet aanwezig zijn; belangrijker is echter dat de ijzeroxides sinteren en derhalve een grotere dichtheid krijgen bij temperaturen boven ongeveer $700^\circ C$. Zodra zuurstof van het ijzeroxide verwijderd wordt en het erts gaat sinteren en krimpen, wordt de reductie van het erts door het gas vertraagd, hierdoor wordt de reaktiesnelheid weer lager.
5. De binding van de ertskorrels heeft vergaande consequenties voor de sterkte van sinter of pellets en voor het verloop van de reductie. Gedurende het sinter- en pelletiseerproces worden bindingen gevormd tussen elkaar rakende ertskorrels op twee manieren: directe binding door rekristallisatie van het hematiet en door gesmolten slak, dat ontstaat uit ganggesteente en toeslagstoffen. Directe binding geeft aanleiding tot een open structuur, waarbij het hematiet gemakkelijk toegankelijk is voor het reductiegas. Slakverbindingen zijn vooral belangrijk in sinter; door de aanwezigheid van slak wordt het voor reductie beschikbare oppervlak kleiner en dus wordt de reductiesnelheid lager. Daarnaast wordt ook de druksterkte van de sinter beïnvloed door de slakbinding. Door de aard van de bindingen in sinter en pellets wordt het voor reductie beschikbare oppervlak beïnvloed.

6. Belangrijke toename van het volume van pellets kan optreden gedurende de reductie van pellets; dit wordt "zwellen" van pellets genoemd. Dit probleem komt niet voor als er voldoende goede slak in de pellets zit. Een goede slaksamenstelling betekent dat zijn theoretische smeltemperatuur niet onder de brandtemperatuur van de brandmachine mag komen.

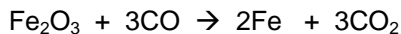
Deze korte toelichting op enige factoren die de snelheid van de gasreductie van erts bepalen, is voldoende om te begrijpen, waarom in de praktijk allerlei semi-empirische proeven worden gebruikt om reductiegegevens voor erts af te leiden. Deze proeven leveren hoogstens gegevens op waarmee een vergelijking tussen verschillende materialen kan worden gemaakt. Uiteindelijk zijn echter alleen de resultaten van het hoogovenproces maatgevend voor de kwaliteit van de grondstoffen.

4.5.2. Gasreductie versus koolstofreductie.

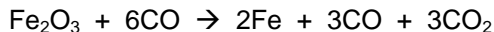
Oppervlakkig gezien lijkt de warmtebehoefte van de koolstofreductie deze reactie onaantrekkelijk te maken in vergelijking met gasreductie, waarbij veel warmte vrijkomt. De waarheid is echter iets complexer.

Laten we eens ingaan op de extreme gevallen, waarin hematiet volledig wordt omgezet in ijzer, eerst door CO en vervolgens door vaste koolstof.

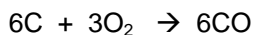
De reactie voor gasreductie is:



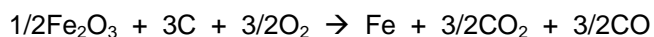
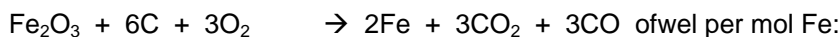
Hierbij moet bedacht worden, dat CO afkomstig is van kooks.
Aangenomen dat de uiteindelijke CO / CO₂-verhouding 1 is.



en de CO komt van kooks, dus:



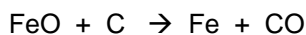
Samengevat geeft dit:



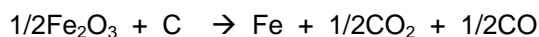
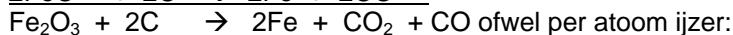
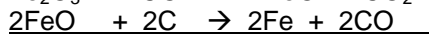
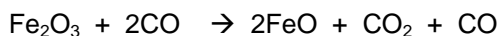
Per gevormd atoomijzer heb je dus 3 atomen koolstof nodig ofwel voor 1 ton Fe 36 / 56 ton koolstof (ca. 600 kg / ton ruwijzer).

Verder levert gasreductie een groot warmte-overschot op.

Onder in de oven wordt FeO volgens de koolstofreductie gereduceerd:



Met het gevormde CO kan hematiet gereduceerd worden volgens:



Per atoom ijzer is dus 1 atoom koolstof nodig ofwel per ton ijzer 12 / 56 ton koolstof (ca. 200 kg / ton ruwijzer).

De koolstofreductie levert echter een warmte-tekort maar er wordt maar een derde van de hoeveelheid koolstof gebruikt om een mol ijzer te produceren:

Voor de koolstofreductie is, zoals we hierboven reeds gezien hebben, minder koolstof nodig, maar er is een warmte tekort.

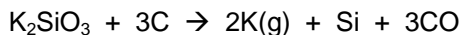
Het is daarom aantrekkelijk, als beide reductiemechanismen gecombineerd worden, omdat een deel van de warmte, die ontstaat bij de gasreductie, gebruikt kan worden voor de warmtebehoefte van de kooksbesparende koolstofreductie. Beide reacties vinden in de praktijk plaats; 2/3 van het zuurstof van het ijzeroxide wordt verwijderd met gasreductie en 1/3 door koolstofreductie. Het gas geproduceerd bij de koolstofreductie neemt deel aan de gasreductie.

Voor de praktijk is het van belang dat bij de directe reductie extra CO- gas gevormd wordt, terwijl bij de gasreductie CO uit het gevormde gas wordt omgezet in CO₂. Neemt het percentage koolstofreductie in de oven toe, dan stijgt ook het percentage (CO + CO₂) in het topgas en daarmee het kooks/kolen verbruik.

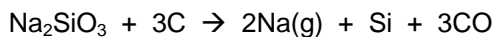
4.6. Kringloop in de hoogoven.

Zink en de alkaliën Natrium en Kalium maken in de hoogoven een kringloop door. Door de lage smelt- en kooktemperaturen van de verbindingen van deze elementen treden ongewenste effecten op. Bijvoorbeeld: kleine hoeveelheden van dit materiaal reduceren, verdampen en worden weer vloeibaar c.q. vast in de schacht en maken verbindingen tussen de ladingdelen, waardoor schollen worden gevormd, die aanleiding zijn voor abnormaal daalgedrag. Ook degradatie van kooks en versnelde slijtage van het vuurvast kunnen worden veroorzaakt door alkaliën en zink. De interne circulatie van deze stoffen moet dus beheerst worden.

De alkaliën vormen bestanddelen van erts en kooks, meestal in de vorm van silicaten, die gedeeltelijk ontleden bij temperaturen rond 1500° C volgens:



Evenzo voor



Veel van het silicaat reageert niet in de hoogoven en wordt opgenomen in de slak, maar de natrium- en de kaliumdamp die in de kolenzak vrijkomt stijgen op in de schacht.

De damp condenseert en/of oxideert weer hoger in de oven, zodat een kringloop optreedt. Slechts een klein deel van de alkaliën komt in zo'n kringloop terecht, maar de hoeveelheid alkaliën in de kringloop moet toch beheerst worden omdat er anders ongewenste afzettingen op de vuurvaste wand ontstaan.

Gedeeltelijke vervangen van CaO in de slak door MgO kan hiervoor gebruikt worden. Indien incidenteel alkaliën verwijderd zouden moeten worden, kan de slakbasiciteit verlaagd worden; dit geeft echter een nadeel voor het S-gehalte van het ruwijzer.

De belangrijkste bron voor zink in de hoogoven is de sinter; in de sinter worden immers afvalstoffen als gasstof, oxykalkslik e.d. opgenomen; deze bevatten soms veel zink.

Sommige ertsen bevatten eveneens zinkoxide, dat boven 1000° C gemakkelijk gereduceerd wordt. Het kookpunt van het metaal is 907° C. De zinkdamp wordt hoger in de oven weer gecondenseerd of geoxydeerd en slaat dan weer neer op de lading en de cyclus wordt herhaald.

Zink wordt uit de oven verwijderd met de gasstroom. Beheersing van de temperatuur in het hart van de oven is hiervoor een vereiste. Voorts moet zorgvuldig de analyse van de hoogoveninzetstoffen in de gaten gehouden worden.

Onderin de oven wordt zink gereduceerd en verdampt. De oven is onderin te warm om zink te laten wegvloeien. Bovenin is de oven feitelijk te koud. Alleen in het hart zijn de omstandigheden geschikt om zink af te voeren, het CO gehalte is hoog, 35 - 40 %, en de temperatuur is hoger dan 450° C.

4.7. Stof- en warmtebalans.

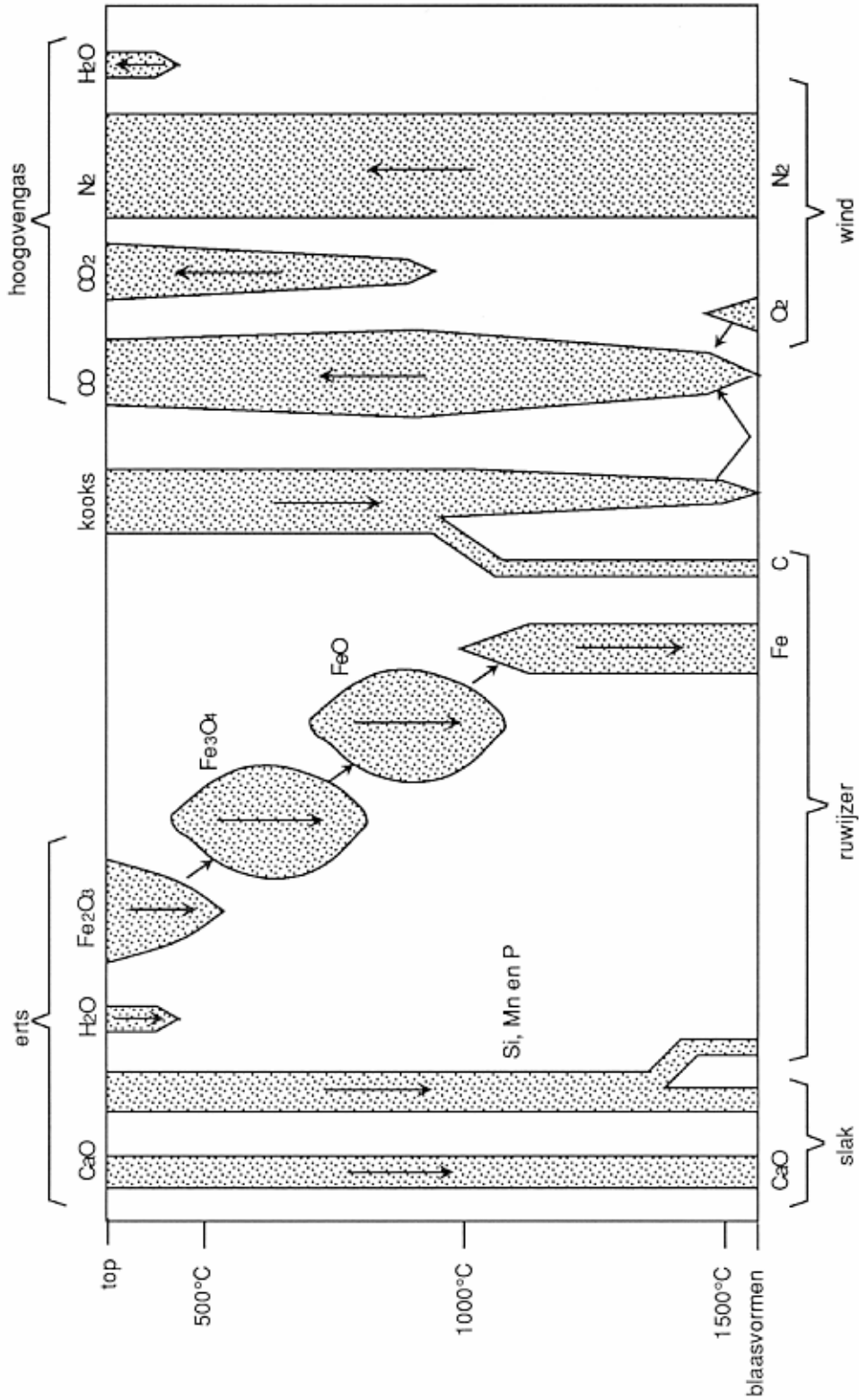
Een globaal overzicht over de in- en uitvoer van stof in een hoogoven staat in het schema op de volgende bladzijde. Een dergelijk overzicht voor de warmtebalans op de pagina erna.

Berekening van stof- en warmtebalansen uit de verschillende inputs en outputs is een belangrijk onderdeel van de analyse van het hoogovenproces.

Voor stof- en warmte balansen hebben staalbedrijven computerprogramma's beschikbaar. Daarmee is onder meer de directe reductie uit te rekenen.

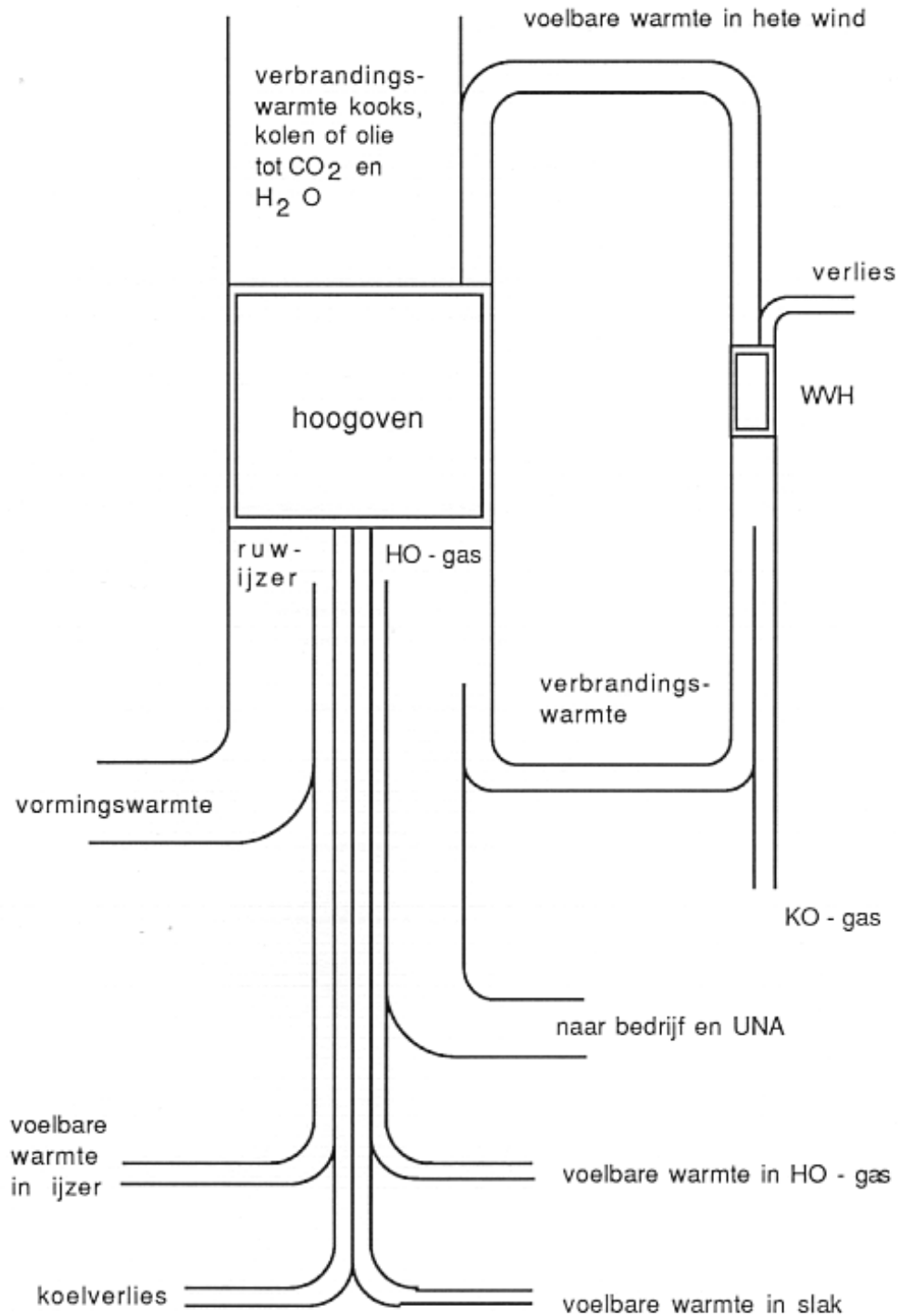
figuur 4.11

Stofbalans



figuur 4.12

Warmtebalans





**Corus Strip Products IJmuiden
Manufacturing Hoogovens**

Het Hoogovenproces

Hoofdstuk : 04
Revisienummer : 01
Datum uitgifte : 12-2001

Bladzijde : 20 van 4

Hoofdstuk 5

Daalgedrag, doorgassing en belading van de hoogoven.

5.1. Inleiding.

De hoogoven is zowel een chemische reaktor als een tegenstroom - warmtewisselaar. Erts en kooks worden in de oven geladen en dalen door de zwaartekracht ten gevolge van het feit dat beneden in de oven holtes worden gevormd door vergassing van kooks en smelten van ijzer en slak. In dit hoofdstuk willen we ingaan op de beweging van het gas en de lading.

De gasstroom in de hoogoven is van groot belang voor:

- Een gelijkmatig verloop van de reductiereacties, zodat een constante ruwijzer kwaliteit wordt bereikt en een scherpe instelling van het kooksverbruik mogelijk wordt.
- Een gelijkmatige belasting van de wand van de hoogoven, zodat het vuurvast zo lang mogelijk meegaat.
- Een regelmatig daalgedrag van de lading.
- De produktiviteit van de hoogoven.

De holtes tussen de erts en kooksbrokken van de lading stellen het gas in staat naar boven te stromen. De fysische eigenschappen van de lading - denk aan korrelgrootte, zeefanalyses en verweek- en smeltemperatures - bepalen de uniformiteit van het doorgassingspatroon. Het doorgassingspatroon wordt niet alleen bepaald door de ladingverdeling in de "droge" schachtzone, maar ook processen lager in de oven hebben een ingrijpend effect op het doorgassingspatroon.

Het doorgassingspatroon kan onder in de oven beïnvloed worden door zaken als:

- Verkleining van de vrije ruimte tussen de deeltjes door zwellen, verweken en smelten.
- Het verstopen van de rust met slak door een slechte aftappraktijk, waarbij de slak tot aan de vormen komt.

In dit hoofdstuk willen we eerst ingaan op het daalgedrag van de hoogoven, vervolgens op het doorgassingspatroon en tenslotte op de belading. Deze 3 onderwerpen hebben alle nauw met elkaar te maken.

5.2. Daalgedrag van de hoogoven.

Het daalgedrag in de hoogoven hangt af van factoren als:

- het windvolume en zuurstofgehalte
- de weerstand van de lading, smeltgedrag van de lading
- de vlamtemperatuur
- de slaksamenstelling van de inzet en de slakvorming
- vorming van aanzettingen, "brug" vorming in de lading en vorming van "gewelven" van aan elkaar gekitte lading
- aftappraktijk
- de wrijvingskracht van de wand
- meer of minder open hart sturing

Bij al deze factoren bestaat de mogelijkheid, dat het verticale krachtenevenwicht in de hoogoven zodanig verstoord is, dat de opwaartse kracht, die op de lading werkt, groter is dan de zwaartekracht, die de lading naar beneden drukt. We zullen daarom eerst ingaan op het verticale krachtenevenwicht.

5.2.1. Het verticale krachtenevenwicht.

Zoals gezegd, zakt de lading onder invloed van de zwaartekracht naar beneden. Welke krachten werken tegengesteld aan deze "daalkracht"?

Tussen de onderzijde van de smeltzone en de bovenkant van de lading is er een drukverschil. Dit is gelijk aan de hetewinddruk, minus drukverlies over de vormen. Omdat de smeltzone een groot oppervlak heeft, is de totale kracht die naar boven drukt erg groot; in figuur 5.1. zijn de opwaartse krachten, uitgerekend voor HO 7, gegeven. Hoe hoger de topdruk, hoe lager de drukval over de lading en des te minder groot is deze kracht naar boven.

Een tweede kracht naar boven komt doordat de (lichte) kooks onder in het vloeibare, zware ijzer staat. Dit wordt wel het opdrijvend vermogen van de dode man genoemd. Via de dode man kan deze kracht overgebracht worden op de "droge" lading. Door de oven goed leeg te houden kan deze kracht zo klein mogelijk gehouden worden.

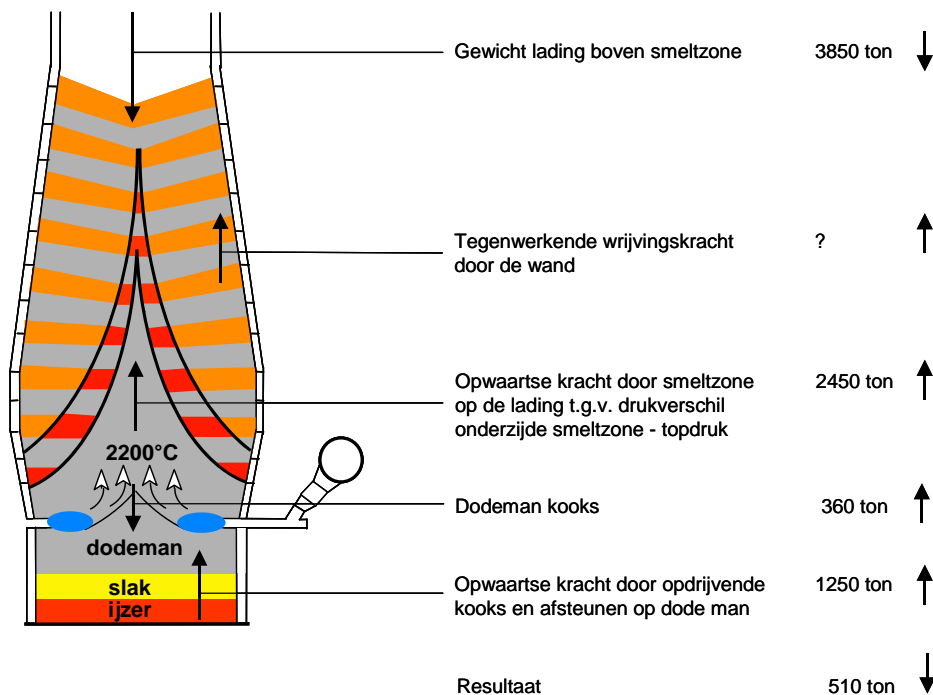
Ook als de oven goed leeg is en blijft, heeft de dodeman invloed op het zakgedrag. De lading steunt op de dodeman. Zodra de lading wil zakken wordt die in het hart van de oven door de dodeman tegengehouden.

De lagen worden ringen en zakken over de dode man. Dit komt omdat het erts het middelpunt niet haalt.

Voorts houdt de wand, vooral de doorstekende neuzen van de koelplaten, de lading als het ware vast. Door de wandwrijving kunnen aanmerkelijke tegenwerkende krachten ontstaan. Als over de neuzen van de koelplaten een "proces huid" ontstaat wordt dit minder.

De totale kracht die de zwaartekracht op de lading boven de smeltzone levert, is verder nog afhankelijk van de ligging van de smeltzone: hoe lager de smeltzone ligt (d.w.z. hoe kouder de oven is), des te meer lading zit boven de smeltzone en dus is de neerwaartse kracht groter. Ook wordt het oppervlak waaronder de gasdruk staat kleiner.

figuur 5.1. Het krachtenevenwicht in de hoogoven: rekenvoorbeeld HO 7.



Berekening uitgevoerd voor HO 7, topdruk 2,3 bar

5.2.2. Daalgedrag in relatie tot het verticale krachteenwicht.

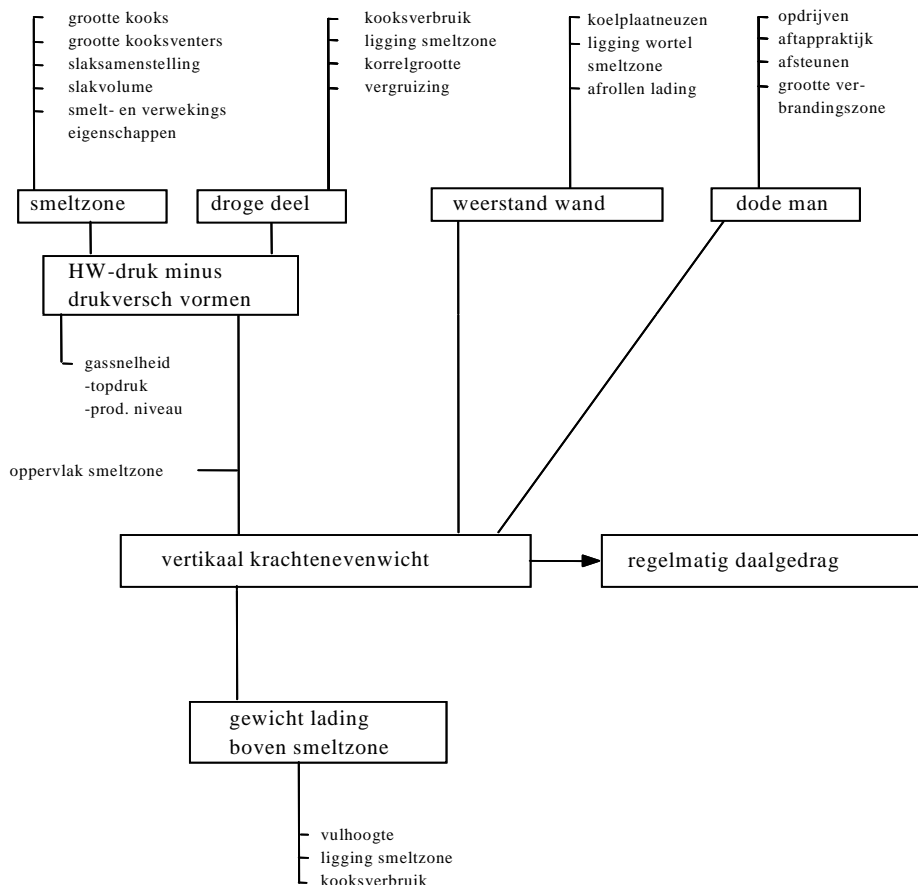
Met het totale beeld van het verticale krachteenwicht in het achterhoofd zijn een aantal bekende verschijnselen goed te begrijpen:

- Bij hoge druk wordt de oven erg gevoelig voor niet leeg zijn van de aftap; er bestaat dus het risico dat de lading gaat slippen. Reden: door hoge druk grote opwaartse kracht.
- Bij aanblazen duurt het even voor de oven gaat lopen, redenen: Er moet eerst ruimte gemaakt worden en de tegenwerkende wrijvingskracht is hoog omdat over de gehele wand ten dele aan elkaar geklit materiaal moet gaan zakken: de wrijvingskracht is juist het hoogst vlak vóór iets begint te bewegen.
- Ten gevolge van het vormen van schollen in de oven is de opwaartse druk hoog.
- Een warme oven is vaak stug: een warme oven betekent dat de smeltzone hoog ligt en dat de zwaartekracht dus kleiner is. Verder is bij een hoog Si in het ijzer de basiciteit van de rustslak hoog en is ook de liquidus temperatuur ervan hoog (veel SiO₂ uit de slak): dit kan resulteren in een slecht afdruipegdrag en dus een hoge weerstand over de smeltzone.

Er zijn tal van redenen waarom het drukverschil over de oven hoog wordt, bijvoorbeeld: onvoldoende goed afgezeefd materiaal, sterk vergruizend materiaal of een verkeerde (d.w.z. hoog basische) slak. Ook zijn er verschillende redenen waarom zich aanzettingen in de oven kunnen vormen. Hoger in de oven is de bekendste oorzaak gelegen in de alkali en zink huishouding, lager in de oven vaak door het stollen van de primaire slak.

Aanzettingen leveren een extra wrijvingsweerstand en een verstoring van het doorgassingspatroon op.

In figuur 5.2 zijn een aantal factoren vermeld, die het daalgedrag beïnvloeden.

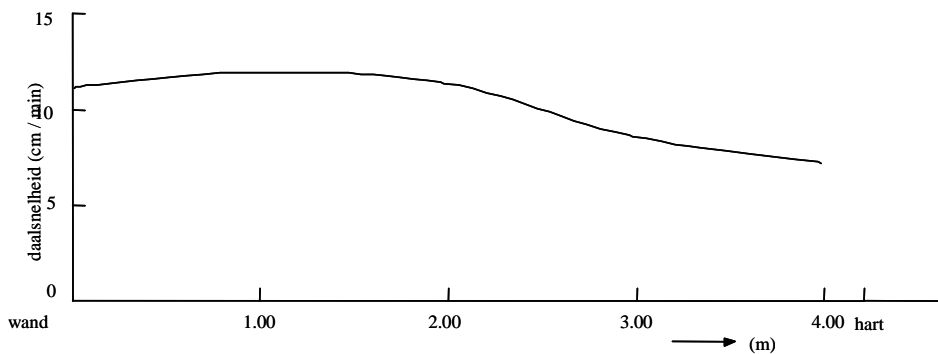


Bij bestudering van de meting van de daalsnelheid over de diameter van de oven blijkt, dat daarin het verticale krachterevenwicht zichtbaar wordt.

Aan de wand is de daalsnelheid lager dan ca. 1 meter van de wand af vanwege de tegenwerkende kracht van de ruwe wand. In het hart wordt de daalsnelheid lager vanwege het afsteunen van de lading op de dodeman.

Overigens lijkt het erop dat de lading als een ananas ring over de kegel van de "dode man" glijdt, waarbij de ring steeds groter van diameter wordt (\varnothing kolenzak = $2x \varnothing$ keel)

figuur 5.3. Daalsnelheid lading HO 6 (begin augustus 1989)



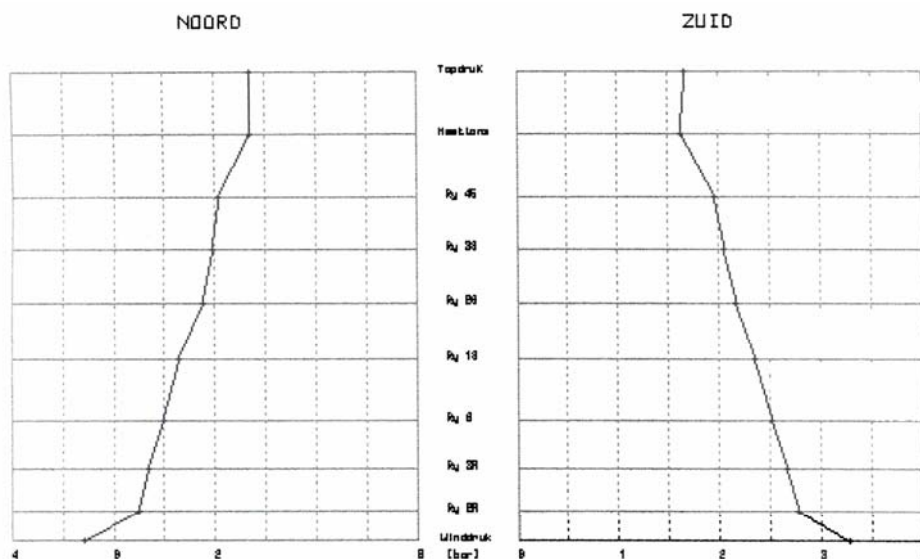
5.3. Het doorgassingspatroon.

Het gas, dat voor de vormen gevormd wordt, kiest op zijn weg door de oven de weg van de minste weerstand. In de hoogoven zijn twee zones die relatief gemakkelijk doorgasbaar zijn, n.l.:

- de wandzone, omdat daar een scheidingsvlak tussen vuurvast en lading bestaat, dat bij het zakken van de lading door de ruwe, wasbordachtige wand steeds verstoord wordt.
- het hart van de oven, omdat daar – meestal alleen - de grove erts- en kooksbestanddelen terecht komen en het kooksaandeel groot is.

Dit betekent dat over de diameter van de hoogoven het doorgassingspatroon varieert.

Het belang van het doorgassingspatroon is er in gelegen, dat voor een goede efficiëntie van het proces de hoeveelheid opstijgend gas in iedere ladingkolom in evenwicht moet zijn met de hoeveelheid af te bouwen zuurstof. Ook moet de warmte-overdracht van gas naar lading voldoende zijn om de lading te drogen, op te warmen en uiteindelijk af te smelten.



1	24-uur	Noord	3	5	7	9
2	24-uur	Zuid	4	6	8	8 Structuur

In figuur 5.4. hierboven, is aangegeven hoe de druk over de hoogoven varieert. Van het totale drukverschil tussen hetewind en topdruk verloopt globaal het drukverlies volgens de waarde die vermeld staan in tabel 1:

Tabel 1: Indikatie van het drukverschil over de hoogoven.

HW-druk - topdruk	100 %
HW-druk - raceway	20 %
Raceway - onderzijde smeltzone	10 %
Smeltzone	40 %
Bovenzijde smeltzone - topdruk	30 %

Voor we het totale doorgassingspatroon bespreken, gaan we eerst in op de twee types stromingspatronen die het gas in de hoogoven ondergaat, n.l.:

- Stroming door het "natte" deel, d.w.z. de stroming van het gas door een kooks-bed, dat doorstroomd wordt met vloeibaar.
- Stroming door het "droge" deel van de hoogoven, boven de smeltzone.

5.3.1. Doorgassing door het "natte" deel van de hoogoven.

In tabel 5.1. is al aangegeven, dat een groot deel van de weerstand door de stroming van het gas gelegen is in en rond de smeltzone. Waar komt deze hoge weerstand vandaan?

Ten eerste is de doorgassing van de ertsbestanddelen in de smeltzone sterk beperkt omdat de smeltende ertsbestanddelen als het ware aan elkaar kleven en verdichten

Ten tweede wordt de gasstroom door het zogenaamde kooksskelet bemoeilijkt doordat slak en ijzer een deel van de vrije ruimte in het kooksskelet opvullen.

Ook de slak wordt, afhankelijk van de viscositeit, weggedrukt naar zones met lagere gassnelheid. Omdat ijzer veel zwaarder is, is dit veel minder het geval voor ijzer. Het zal duidelijk zijn, dat een goede drainage van de slak naar de haard bevorderd wordt door:

- grove kooks
- een betere vloeibaarheid van de slak
- een slechte bevochtiging van kooks door slak
- een lagere slakhoeveelheid per ton ijzer
- een zo laag mogelijke gassnelheid (dus hoge topdruk)

5.3.2. Doorgassing door het "droge" deel van de hoogoven.

In het "droge" deel van de hoogoven stroomt het gas door een laag korrels. Het belangrijkste is dat het gas ongehinderd gelijkmatig door deze laag kan stromen. Daarvoor is een goede doorlaatbaarheid en een zo klein mogelijke drukval nodig.

In deze paragraaf gaan we eerst in op de weerstand van een laag korrels van één of meer groottes en vervolgens op het doorgassingspatroon van het droge deel - de schachtzone - van de hoogoven.

5.3.2.1. De weerstand van een laag korrels.

De belangrijkste parameter, die de weerstand van een laag korrels bepaalt, is de vrije ruimte tussen de korrels: hoe meer vrije ruimte, hoe gemakkelijker het gas tussen de bolletjes door kan gaan. De weerstand van een laag is afhankelijk van het percentage vrije ruimte.

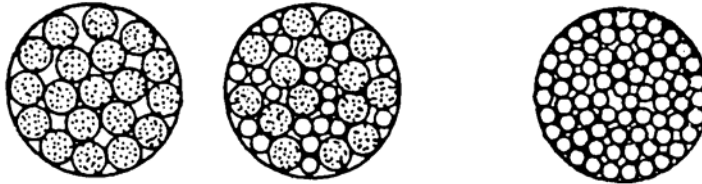
Weerstand $r = \frac{E^3}{1 - E}$ waarin E de fraktie vrije ruimte is.

Neemt de vrije ruimte af van 35 % naar 30 %, dan neemt de weerstand toe met:

$$\frac{0,35^3}{1 - 0,35} : \frac{0,30^3}{1 - 0,30} = 1,71, \text{ dus met } 71 \%$$

Zo'n afname van de vrije ruimte kan ontstaan als we deeltjes van verschillende groottes met elkaar mengen. Als er precies voldoende kleine bolletjes in de holtes tussen de grote bolletjes passen, is de vrije ruimte minimaal. (zie figuur 5.5)

figuur 5.5.



Behalve van het percentage vrije ruimte hangt de weerstand van een kolom korrels ook af van:

- de grootte van de deeltjes: hoe groter de deeltjes, des te groter zijn de gaten tussen de deeltjes en des te gemakkelijker gaat het gas er doorheen.
- de gassnelheid: een lage snelheid van het gas geeft een lagere drukval.

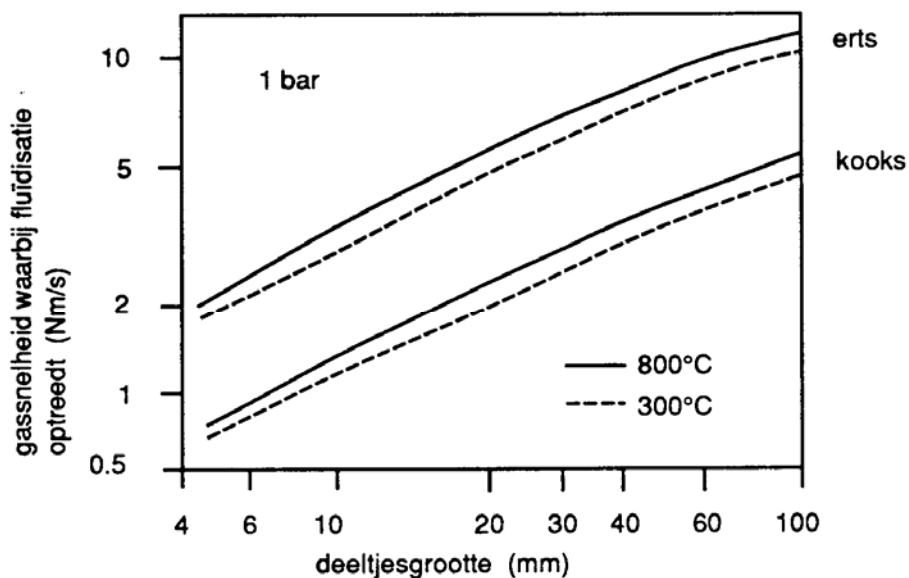
Vanuit het oogpunt van doorlaatbaarheid geldt: hoe groter de deeltjes, hoe beter. Vanuit de reductie en warmte-overdracht geldt precies het tegenovergestelde. In de praktijk moeten we dus een compromis zien te vinden.

Bij toenemende gassnelheden neemt de druk, die nodig is om het gas door de deeltjes te persen, kwadratisch toe. Dat wil zeggen, om 10 % meer wind door de oven te krijgen heb je $1,10 \times 1,10 = 1,21$, d.w.z. 21 % meer druk nodig.

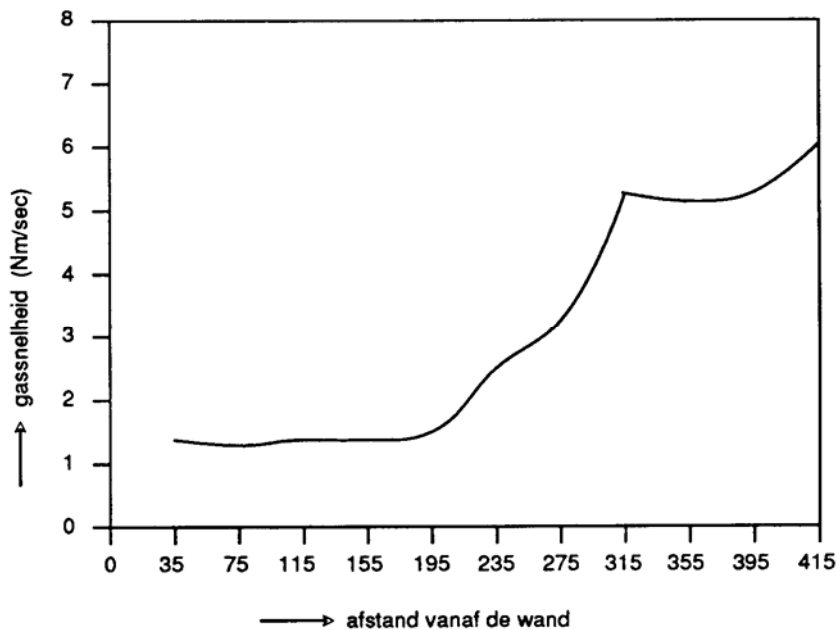
Boven een zekere kritische snelheid is de opwaartse kracht van het gas gelijk of groter dan de zwaartekracht: de deeltjes beginnen dan heen en weer te springen, te fluidiseren. Hoe lichter en hoe kleiner de deeltjes zijn, des te lager is deze kritische snelheid. De gassnelheden waarbij dit plaats vindt staan in figuur 5.6.

In deze figuur is duidelijk te zien dat kooks boven in de oven gemakkelijk kan fluidiseren. De resultaten van een gassnelheidsmeting boven de lading van HO 6 staan in figuur 5.7.

figuur 5.6. Fluidisatie van kooks en erts.



figuur 5.7. Gassnelheid gemeten boven de lading van HO 6 begin 1989.



In de praktijk kan deze fluidisatie ook in de hoogoven optreden.

Op sommige plaatsen boven in de oven kan de kritische gassnelheid worden overschreden. Op deze plekken wordt de weerstand lager, en dus de gassnelheid hoger, waardoor gaskanalen in de oven ontstaan. Het proces vertoont dan hoge topgastemperaturen, niet uniforme verhitting en reductie van de lading en dus onregelmatige kwaliteit, hoog kooksverbruik en slechte gasbenutting. Een eenvoudige, maar niet altijd afdoende remedie is bijmaken (waarom?).

5.3.2.2. De weerstand van het "droge" deel van een hoogoven.

De weerstand van het "droge" deel van de hoogoven wordt voor het grootste deel gevormd door de ertslagen, omdat kooks grover is (en meer vrije ruimte heeft). De kookslagen vormen als het ware zones met gelijke druk.

Over de diameter gerekend hebben de ertslagen echter ook geen uniforme weerstand. In de gebruikte sinter komt altijd grof en fijn materiaal voor. Het is bekend dat bij het storten het fijnere materiaal onder het stortpunt blijft liggen, terwijl het grovere materiaal van de helling afrolt, d.w.z. dat bij het beladen van de hoogoven veel grof materiaal in het hart van de oven terecht komt en veel fijn materiaal tegen de wand. Dit is bij een 2 klokken systeem veel sterker het geval dan bij een PW systeem.

We hebben nu al twee invloeden op de ladingweerstand in iedere kolom in het "droge" deel van de oven, n.l.:

- de kooks / ertsverhouding: hoe meer kooks in een ladingkolom en hoe minder erts, des te lager is de weerstand; voor de uiteindelijke kooks / ertsverhouding is van belang onder welke storthoek kooks en erts in de oven terecht komen.
- de grof / fijn segregatie: hoe grover het materiaal, des te lager de weerstand (m.n. in het hart, soms ook aan de wand).

Voor de totale weerstand van een ladingkolom boven de smeltzone is verder nog de afstand tussen de bovenkant van de smeltzone en de bovenkant van de lading van belang. Deze afstand is in het hart veel korter dan in de wandzone.

Tenslotte zijn er nog twee belangrijke invloeden bij het storten van de lading in de hoogoven:

Als we een laag erts op kooks storten treden er twee effecten op: het erts, dat meestal tegen de wand wordt gestort, schuift kooks voor zich uit naar het hart.

Verder vult het fijne erts de ruimte tussen de kooks deeltjes op. Er wordt een zogenaamde "menglaag" gevormd. Van deze beide effecten is bekend, dat ze optreden. We weten echter niet precies hoe sterk.

Het totale beeld leidt ertoe dat:

- de weerstand in het hart van de oven het kleinst is.
- het stortpunt van het erts vaak de plek met de hoogste weerstand is. Hoewel dit stortpunt bij de wand ligt is nauwelijks te voorkomen dat op het scheidingsvlak tussen lading en wand een ring met lage weerstand wordt gevormd.

5.4. Het beladen van de hoogoven.

In figuur 5.8. is schematisch weergegeven wat al in het kader van de weerstand van het droge deel van de oven aan de orde is geweest. Van belang zijn:

- De valparabolen (zie ook figuur 5.9) die bepalen hoe de lading het oppervlak raakt. Ook de beladingshoogte is dus van invloed op de wijze waarop de lading in de oven komt.
- De storthoek. De storthoek van kooks (36°) is steiler dan die van sinter (32°), sinter / pellets mengsel (28°) en pellets alleen (26°). Dat betekent bijvoorbeeld bij de ouderwetse hoogovenpraktijk van een 100 % kooks praktijk, kooks en erts tegen de wand gestort, dat een grote hoeveelheid slecht doorlaatbaar erts in het hart komt met een sterk "randgängig" proces.
- Het sponseffekt: het in de kooks zakken van ertsdeeltjes.
- Het afroleffekt: het naar het hart schuiven van kooks.(coke push)
- De grof / fijn verdeling (zie boven).

In figuur 5.8 zijn schematisch de situaties bij een klokken top met beweegbaar slagpantser (links, HO 7) en een Paul Würht top (rechts, HO 6) getekend.

Verder is een meetlans getekend, waarmee gasmonsters en temperaturen gemeten kunnen worden; de percentages van het oppervlak onder ieder meetpunt zijn aangegeven.

Waar wordt bij het beladen van een hoogoven sterk op gelet?

Ten eerste letten we op het drukverschil over de lading. Als de weerstand van de oven hoog wordt, zakt de lading niet regelmatig. Als de weerstand te hoog is kunnen we zorgen dat er meer kooks in het hart komt en minder erts, waardoor er als het ware een "drukventiel" in het hart van de oven gevormd wordt. De manier waarop we meer kooks in het hart brengen kan verschillen:

- Met de P.W.-top kunnen we kooks er gewoon neerleggen.
- Met de klokken-top kunnen we kooks meer naar het hart brengen, door het slagpantser naar binnen te sturen. (voor de kooksdumps)
- Door de dikte van de kookslaag kleiner te maken kunnen we vaker een afroleffekt van kooks naar het hart bewerkstelligen. (coke push)
- Bij buitenlandse bedrijven wordt wel gebruik gemaakt van een versterkt afroleffekt door een ertsdump in tweeën te delen: de eerste gericht op de kookskam, de tweede op de wand.

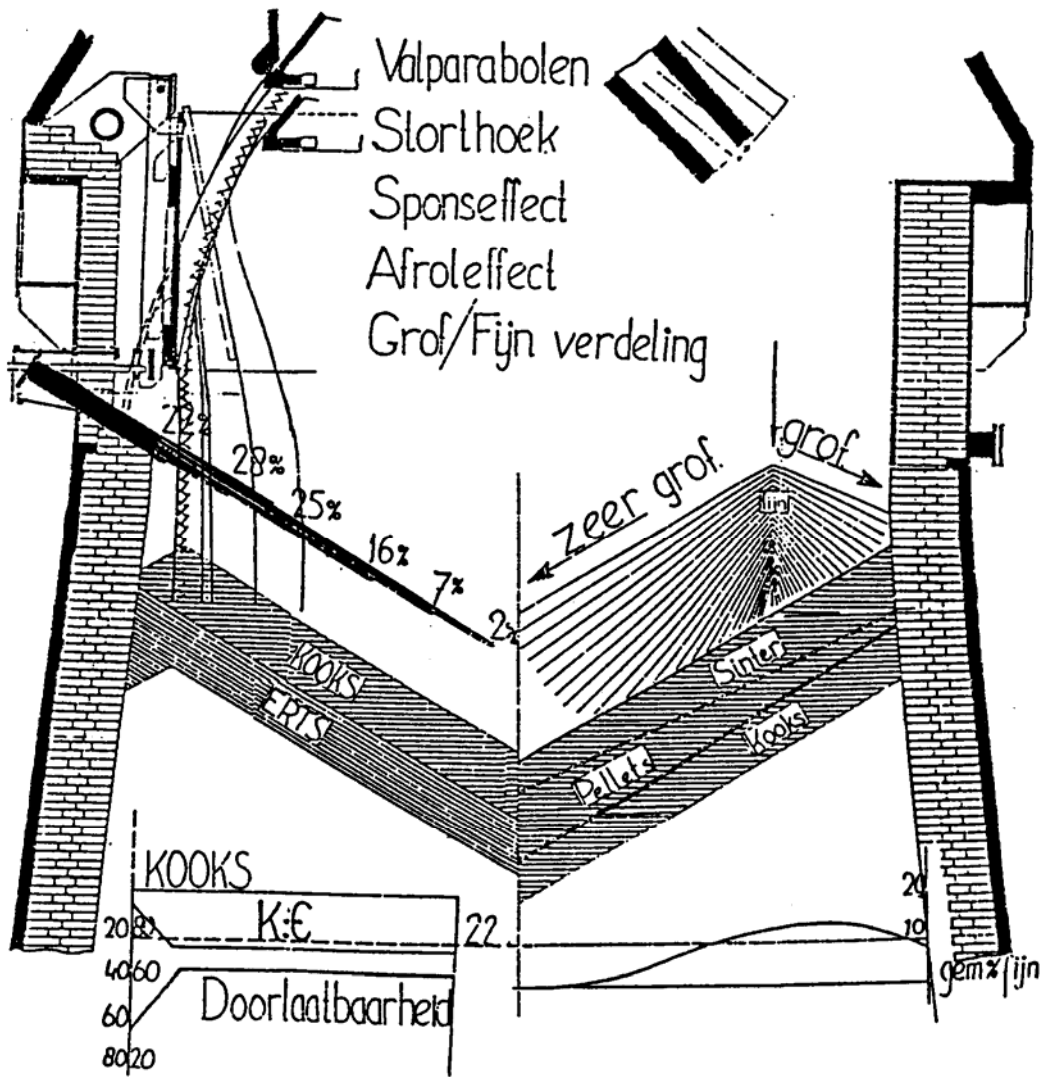
Ten tweede letten we op de gasbenutting. Door het hart van de oven ontsnapt gas met een lage gasbenutting en een hoge temperatuur; dat is in feite verlies van reductiekracht voor de lading. Geprobeerd wordt om dit verlies zo klein mogelijk te houden.

Wordt de hartwerking van de oven echter te klein, dan wordt (zie hierboven) het zakgedrag slechter en ontstaan er vaak ook hoge koelverliezen.

Dit is verlies van energie en CO benutting.

Ten derde letten we op het koelverlies. Als de wortel van de smeltzone hoog in de oven ligt (schacht), ontstaat bij het zakken van de lading steeds een kier tussen smeltzone en wand. Door deze kier ontsnapt heet gas, waardoor pieken in de koelverliezen ontstaan. Zit de wortel van de smeltzone vlak boven de vormen, dan kan de smeltzone bij een of andere verstoring problemen bij de blaasvormen opleveren. In deze situatie zijn de koelverliezen zeer laag. We proberen het koelverlies boven een minimum nivo te houden, maar dat minimum proberen we zoveel mogelijk te benaderen. De ligging van de wortel van de smeltzone kunnen we beïnvloeden met de kooks / erts verhouding(40 - 60 tot 50 - 50) in de wandzone.

figuur 5.8.



Hoofdstuk 6

De praktijk bij Corus IJmuiden.

In de voorgaande 5 hoofdstukken werd ingegaan op de algemene aspecten van het hoogovenproces en de grondstoffen. In dit hoofdstuk gaan we in op de praktijk bij Hoogovens voor:

- 6.1. De kwaliteit van het ruwijzer
- 6.2. Slaksamenstelling en slakvorming
- 6.3. Aftappraktijk
- 6.4. Processturing, instellingen en bijsturing
- 6.5. Grondstoffen (kwaliteit, grondstoffen, mollen, kolen / olie injectie)

6.1. Ruwijzerkwaliteit.

6.1.1. Eisen van de staalfabriek.

Het ruwijzer is de belangrijkste grondstof voor de staalbereiding: daarom wordt de prestatie van de staalfabriek in belangrijke mate bepaald door de kwaliteit van het ingezette ruwijzer. Voor de staalbereiding zijn de chemische samenstelling en de temperatuur van het ijzer het belangrijkste. Ook een goede leverstiptheid is van belang, vooral voor het seriegieten.

Bij Corus zijn staalfabrieken en hoogovens in sterke mate aan elkaar gekoppeld. De effectieve tussenvoorraad in de mengers bedraagt zo'n 5 uur productie. Met deze tussenvoorraad moet bovendien nog een aantal bewerkingen worden uitgevoerd zoals het ontzwavelen en afslakken. De goede doorloop van de productie tussen staalfabrieken en hoogovens vraagt daarom een goede beheersing van het hoogovenproces en een goede logistieke aansluiting.

Voor de staalfabriek zijn van belang:

- Het zwavelgehalte in het ruwijzer.
Zwavel heeft een slechte invloed op de sterkte van staal. Voor "normale" kwaliteiten is 0,015% S in OSF 2 voldoende, voor speciale kwaliteiten is 0,008% S en lager nodig. Aangezien de hoogoven ijzer met zo'n 0,030% S aflevert, is een extra ontzwavelingsstap nodig.
- Het fosforgehalte.
Ook dit heeft grote invloed op de staalkwaliteit. het niveau is in de oven niet te beïnvloeden.
- Het Si-gehalte, Ti gehalte, Mn-gehalte, C-gehalte en de ijzertemperatuur.
Deze zijn van belang voor de warmte-inhoud van het ijzer in het converterproces en hiermee wordt dus bepaald hoeveel schrot extra in de converter kan worden ingezet. Het Mn-gehalte is ook van belang voor de slakvorming. Bij een te hoog Si slijt de convertor snel; bij te een laag Si (< 0,25%) is de warmte inhoud van het ijzer laag en kan er minder schrot ingezet worden en wordt het totale ladinggewicht kleiner. (Titaan werkt als een afgezwakt broertje van Si)
- Constante, reproduceerbare kwaliteit.
In het blaasproces van een converter is een "leerproces" ingebouwd. De ervaringen van de laatste keren blazen voor een bepaalde kwaliteit worden meegenomen bij het opstellen van een volgend blaasprogramma. In het geval van een goede constante ijzeranalyse en temperatuur wordt daarom de trefkans van de converters groter dan bij sterk wisselende analyses.

6.1.2. Ijzerkwaliteit vanuit de hoogoven.

De kwaliteit van het ijzer, zoals dat vanuit de hoogoven wordt afgetapt, wordt beoordeeld aan de hand van een kwaliteitsvenster. We zeggen dat een menger "goed" is, als hij aan de onderstaande eisen voldoet: (huidige kwaliteitsvenster)

0,25%	< Si	< 0,55%
0,30%	< Mn	< 0,50%
	P	< 0,070%

In goede, stabiele weken worden scores gehaald van 80% - 90% "goede" mengers.

Dit kwaliteitsvenster geldt voor de bij de oven volgetapte menger; ontzwaveling en temperatuur zijn hier nog niet in opgenomen.

Het zal duidelijk zijn, dat het hoogovenproces niet bijgeregeld kan worden op basis van een kwaliteitsvenster. Daarom wordt een richtwaarde gehanteerd, die zodanig wordt gekozen, dat de score in het kwaliteitsvenster maximaal is. De sturing van het hoogovenproces verloopt als volgt: Het gemiddelde siliciumgehalte, mangaangehalte en de basiciteit van de slak wordt dagelijks berekend en worden dagelijks aangepast. Het Si-gehalte kan aangepast worden door te verzwaren / verlichten,.

De afspraak is, dat dagelijks het verschil tussen het 3-wachts voorschrijdend gemiddelde en de richtwaarde voor de helft wordt gecompenseerd. Dit is een vrij trage sturing van het HO-proces, omdat bekend is dat het doorwerken van een verlichting c.q. verzwaring 12 - 24 uur kan duren.

Het mangaangehalte wordt aangepast door de hoeveelheid toegevoegd mangaan-erts te vermeerderen of te verminderen.

De basiciteit van de slak wordt zonodig aangepast door de verhouding tussen sinter en pellets te variëren. Bij constante basiciteit en silicium van het ijzer valt dan ook het S-gehalte binnen de kwaliteitsgrenzen.

Het fosforgehalte in het ijzer kan niet bijgestuurd worden bij de hoogovens zelf. 97 à 98% van alle ingebrachte P komt ook in het ijzer terecht. Daarom hangt een verandering van het P-gehalte direct samen met het P-gehalte van de inzet.

De kwalitatieve prestatie wordt wekelijks in kaart gebracht en via een stuurgrafiek dagelijks bijgestuurd.

6.1.3. Zwavelgehalte in het ruwijzer.

6.1.3.1. Zwavel in het ruwijzer, af hoogovens.

Het zwavelgehalte in het ijzer, zoals het wordt afgetapt uit de hoogoven wordt beïnvloed door:

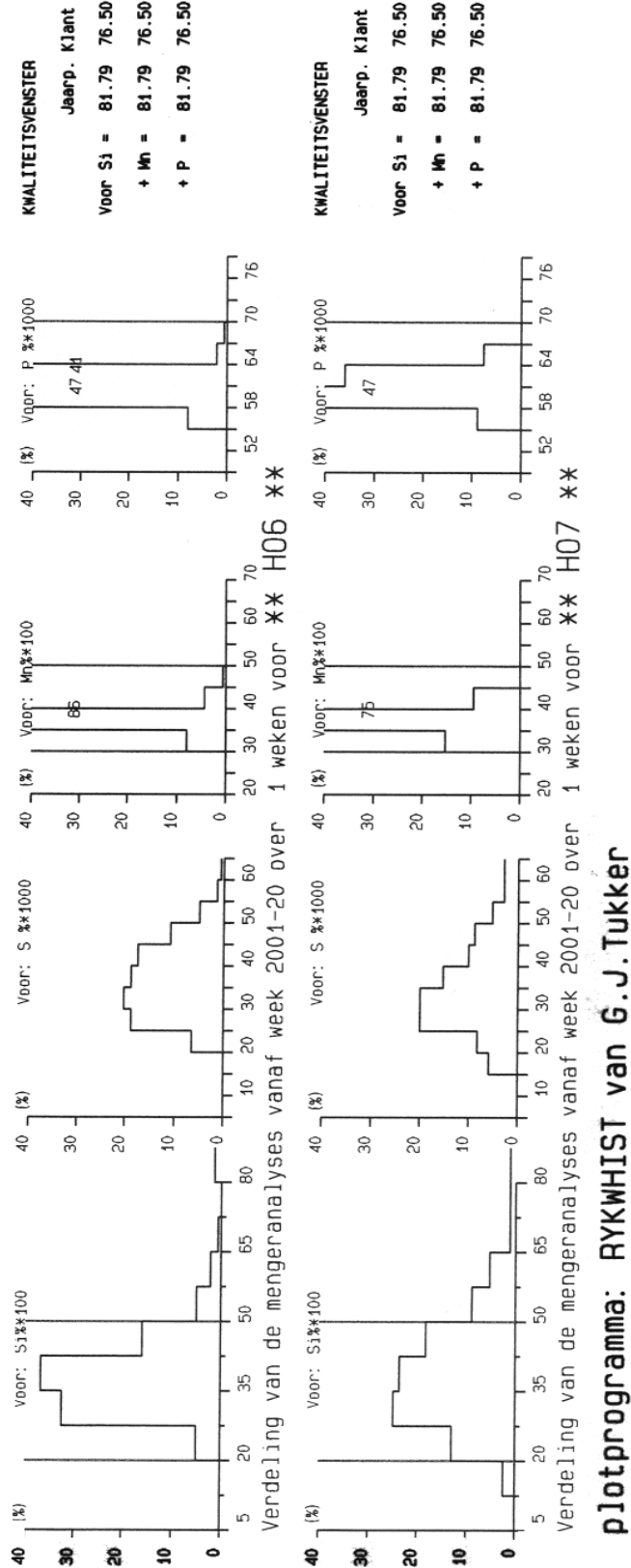
- de hoeveelheid zwavel, die vooral met kooks en kolen de oven ingebracht wordt (normaal ca.3 à 3,5 kg/Trij).
- de mate waarin de zwavel in de slak wordt opgenomen; dit wordt beïnvloed door:
 - a) basiciteit van de slak: hoe basischer de slak, hoe beter het zwavel in de slak wordt opgenomen
 - b) de ruwijzertemperatuur en / of Si: hoe warmer de oven, des te beter het ijzer / slak contact en des te meer zwavel in de slak
 - c) aftappraktijk: hoe beter contact ijzer en slak, ook tijdens de aftap, des te lager de zwavel in het ijzer (lange slaktijd).
 - d) vorm van de smeltzone, met name de positie van de wortel van de smeltzone

Een serie vuistregels zijn in onderstaande tabel opgenomen.

Maatregelen nodig om gemiddeld 0.001 % S minder in het ruwijzer te krijgen		
onderwerp	wijziging	voorbeeld
S kooks	- 0.035%	S kooks van 0.7% naar 0.0665%
S kolen	- 0.07%	S kolen van 1% naar 0.93%
slakvolume	+ 8 kg	slakvolume van 200 naar 208 kg
basiciteit	+ 0.013	basiciteit van 1.50 naar 1.513
Silicium	+ 0.04	Silicium van 0.40% naar 0.44%
slaktijd	+ 5%	slaktijd van 85% naar 90%



figuur 6.1



6.2. Slaksamenstelling en slakvorming.

6.2.1. Slaksamenstelling.

Het ganggesteente van de grondstoffen wordt in de vorm van slak uit de hoogoven getapt waarbij gelijktijdig de elementen die in het ruwijzer niet gewenst zijn grotendeels worden afgevoerd. Om dit te volbrengen moet de slak aan een aantal eigenschappen voldoen zoals:

- vloeibaarheid, het smeltpunt (de liquidustemperatuur) van de slak moet voldoende laag liggen;
- de viscositeit, de slak moet goed uit de oven lopen en goed door de ren kunnen worden afgevoerd;
- ontzwavelingscapaciteit, de slak moet zo goed mogelijk ontzwavelen;
- opnemend vermogen van alkaliën moet voldoende groot zijn;
- voor onze omstandigheden kan hieraan nog worden toegevoegd dat de kwaliteit van de slak zodanig moet zijn dat deze bruikbaar is voor de cementfabrikage.

Daar deze verschillende elementen een strijdige invloed op elkaar hebben, moet een zo goed mogelijk kompromis gevonden worden.

Slakbestanddelen.

De voornaamste slakbestanddelen zijn: CaO - MgO – SiO₂ – Al₂O₃, welke ca. 96% van de slakhoeveelheid uitmaken. De rest bestaat uit TiO₂, FeO, MnO, S, Na₂O en K₂O.

De slakbestanddelen komen in de grondstoffen niet in de gewenste verhouding voor. Daarom worden toeslagstoffen toegevoegd via de sinter en de pellets of rechtstreeks in de hoogoven.

Als CaO-brenger wordt kalksteen gebruikt. Als MgO en SiO₂-brenger olivijn, voor het op peil brengen van het Al₂O₃ bauxiet.

De slaksamenstelling bij Hoogovens is:

CaO	36 %
MgO	11 %
SiO ₂	32%
Al ₂ O ₃	17 %

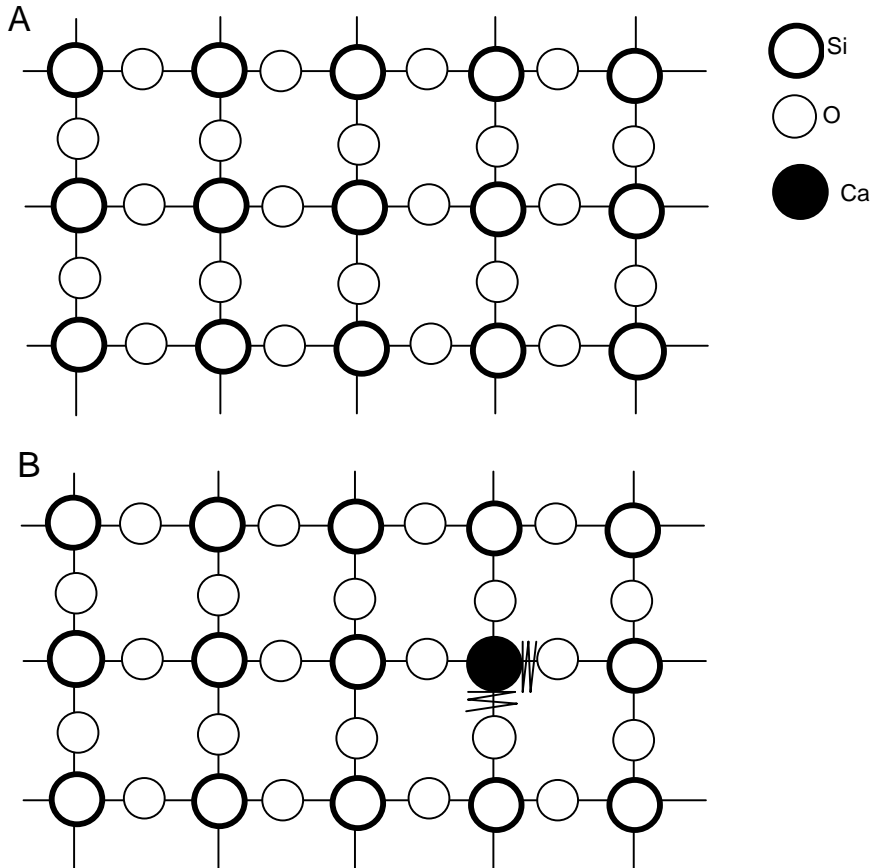
Onder de basiciteit van de slak wordt bij Hoogovens verstaan, de verhouding $\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2}$

Gewerkt wordt met een basiciteit van 1,46 tot 1,50.

Slakstructuur.

In SiO₂ heeft het Si-atoom de mogelijkheid om met 4 zuurstofatomen te binden en het zuurstof heeft de mogelijkheid om met 2 Si-atomen te binden. Dit is schematisch in een plat vlak weergegeven in figuur 6.4. Dit betekent dat SiO₂ in vaste toestand (zand) ketens kan vormen. Als het SiO₂ smelt blijven deze ketenvormende eigenschappen bewaard. Ca- en Mg-atomen zijn echter in staat deze ketens te verbreken: Ca- en Mg-atomen kunnen met twee zuurstofatomen binden en daarmee de keten verbreken. Een Al-atoom kan met 3 zuurstofatomen binden en is dus ook ketenvormend, zij het veel zwakker dan het Si-atoom.

figuur 6.2 Schematische, tweedimensionale voorstelling.

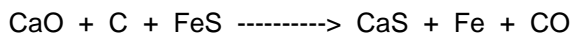


A. De structuur van SiO_2 : in werkelijkheid vormt SiO_2 een driedimensionale vertakking.

B. Het effect van een Ca-atoom in de structuur, die maar met twee zuurstofatomen bindt en zo de ketens verbreekt.

Ontzwavelingscapaciteit.

De S wordt in hoofdzaak gebonden aan CaO en MgO, waarbij in gewichtspercentages de MgO en CaO gelijkwaardig zijn.



De ontzwavelingscapaciteit van de slak wordt dus bepaald door de hoeveelheid CaO + MgO die in de slak aanwezig is. M.a.w. de ontzwavelingscapaciteit is afhankelijk van de basiciteit:

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2}$$

Hoe hoger deze verhouding, hoe beter de ontzwaveling.

Ook geldt; hoe meer slak, hoe beter de ontzwaveling.

Verder blijkt dat ook het % Si in het ruwijzer van invloed is op de ontzwaveling. Hoe hoger het % Si, hoe beter de ontzwaveling. Dit is zowel een temperatuurs- als een basiciteitseffect.

Liquidus temperatuur en viscositeit.

Naast de basiciteit van de slak is ook de Liquidus temperatuur en viscositeit van de slak van grote invloed op de ontzwaveling. (contact mogelijkheid)

Onder Liquidus temperatuur wordt verstaan de temperatuur waarbij de slak geheel vloeibaar is.

Het zal duidelijk zijn dat de slak alleen zijn ontzwavelende werking goed kan uitvoeren als de slak bij de in de oven heersende temperatuur goed vloeibaar is. Bovendien ontzwavelt een dunnere slak beter dan een taaiere.

Een slak die bij de in de oven heersende temperatuur niet vloeibaar is kan niet uit de oven verwijderd worden.

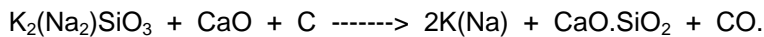
Een goede vloeibaarheid van de slak is ook van belang voor een goede ovengang. Hoe visceuser de slak is, hoe zwaarder de oven zal gaan lopen en hoe moeilijker de slak uit de oven verwijderd kan worden en hoe meer slakafzettingen in de ren zijn te verwachten.

De liquidus temperatuur kan bij een bepaalde basiciteit zo gunstig mogelijk worden gekozen door een juiste combinatie van Al_2O_3 en MgO .

Uit de figuren 6.5. en 6.6. is af te leiden wat er gebeurt bij veranderende slaksamenstelling met de liquidus temperaturen en viscositeiten. De slaksamenstelling bij Corus IJmuiden is hierin aangegeven.

Alkaliën.

De alkaliën K_2O en Na_2O kunnen uit de oven verwijderd worden in de vorm van K_2SiO_3 en Na_2SiO_3 . De silicaten worden niet beneden ca. $1550^\circ C$ gereduceerd. Als de concentratie van CaO echter groot is kan de volgende reactie optreden:



Deze reactie vindt plaats bij een temperatuur die ca. $100^\circ C$ lager is.

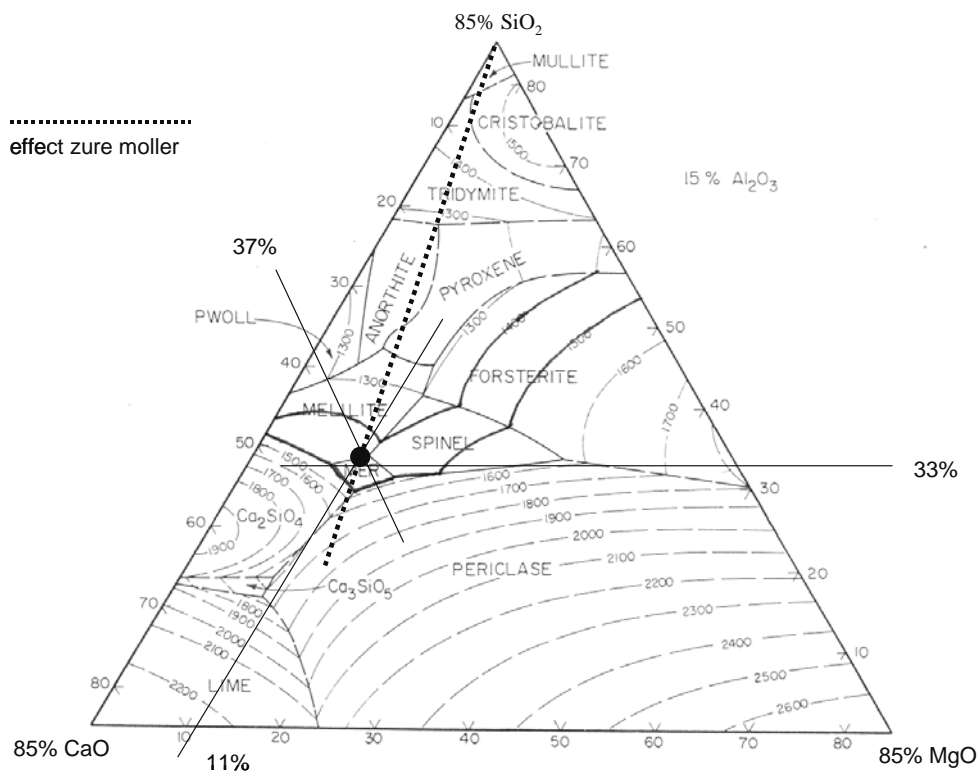
Om het maximum aan alkaliën met de slak af te voeren is het dus belangrijk de basiciteit van de slak betrekkelijk laag te houden.

Het MgO -gehalte zou geen invloed hebben op het alkali-opnemend vermogen. Overigens is ook gebleken dat bij hoge harttemperaturen alkaliën de oven via de top verlaten.

Druksterkte cement

Het Al_2O_3 -gehalte heeft een gunstige invloed op de kwaliteit van de slak voor de fabricage van cement. Ook de factor CaO / SiO_2 heeft een gunstige invloed, vooral op de eind sterkte. Een slak met een hoog Al_2O_3 gehalte en een hoge basiciteit is dus gunstig voor de cement kwaliteit.

figuur 6.3. Liquidus temperaturen.



6.2.2. Slakvorming in de hoogoven.

Bij de vorming van de hoogovenslak worden gewoonlijk drie stadia onderscheiden:

- de primaire slak, die gevormd wordt zodra erts begint te smelten.
- de rustslak, die in de druppelzone gevormd wordt.
- de vorming van de "haard"-slak, dat is de slak die uit de hoogoven wordt afgetapt.

Primaire slak.

De primaire slak bestaat uit systemen met lage smelttemperatuur, d.w.z. mengsels van CaO, SiO₂ en Al₂O₃, waarin veel FeO wordt opgenomen. Bij optimale FeO aandelen liggen de laagste smelttemperaturen rond 1100 à 1200°C. Zoals bekend kan de FeO via de koolstofreductie uit de slak verwijderd worden. Dit leidt ertoe, dat de aanvankelijk gevormde slak steeds taaier wordt en zelfs opnieuw kan stollen.

Rustslak.

In de rust verandert de samenstelling van de slak: uit de kooksas worden de componenten SiO₂ en Al₂O₃ in de slak opgenomen en de FeO verdwijnt uit de primaire slak. Dit leidt tot een slak met een hogere liquidus temperatuur dan de primaire slak.

"Haard"-slak.

De haard is de opvangbak van de slakdruppels. Hier vindt menging plaats. Hierdoor wordt de slak gevormd, zoals die uit de oven wordt getapt.

6.2.3. Slakvoering bijzondere omstandigheden.

Het hoogovenproces is bijzonder gevoelig voor de slakvoering. Dit komt vooral omdat de slaksamenstelling sterk varieert met variërend Si in het ijzer: hoe meer Si in het ijzer, hoe minder SiO₂ in de slak met als resultaat een hoge slakbasiciteit.

De invloed van de hoeveelheid Si in het ijzer op de slaksamenstelling en de slakbasiciteit is af te lezen van figuur 6.4. Zie ook bijlage 3.

Het Si in het ijzer kan variëren door de inzet van extra kooks t.b.v.

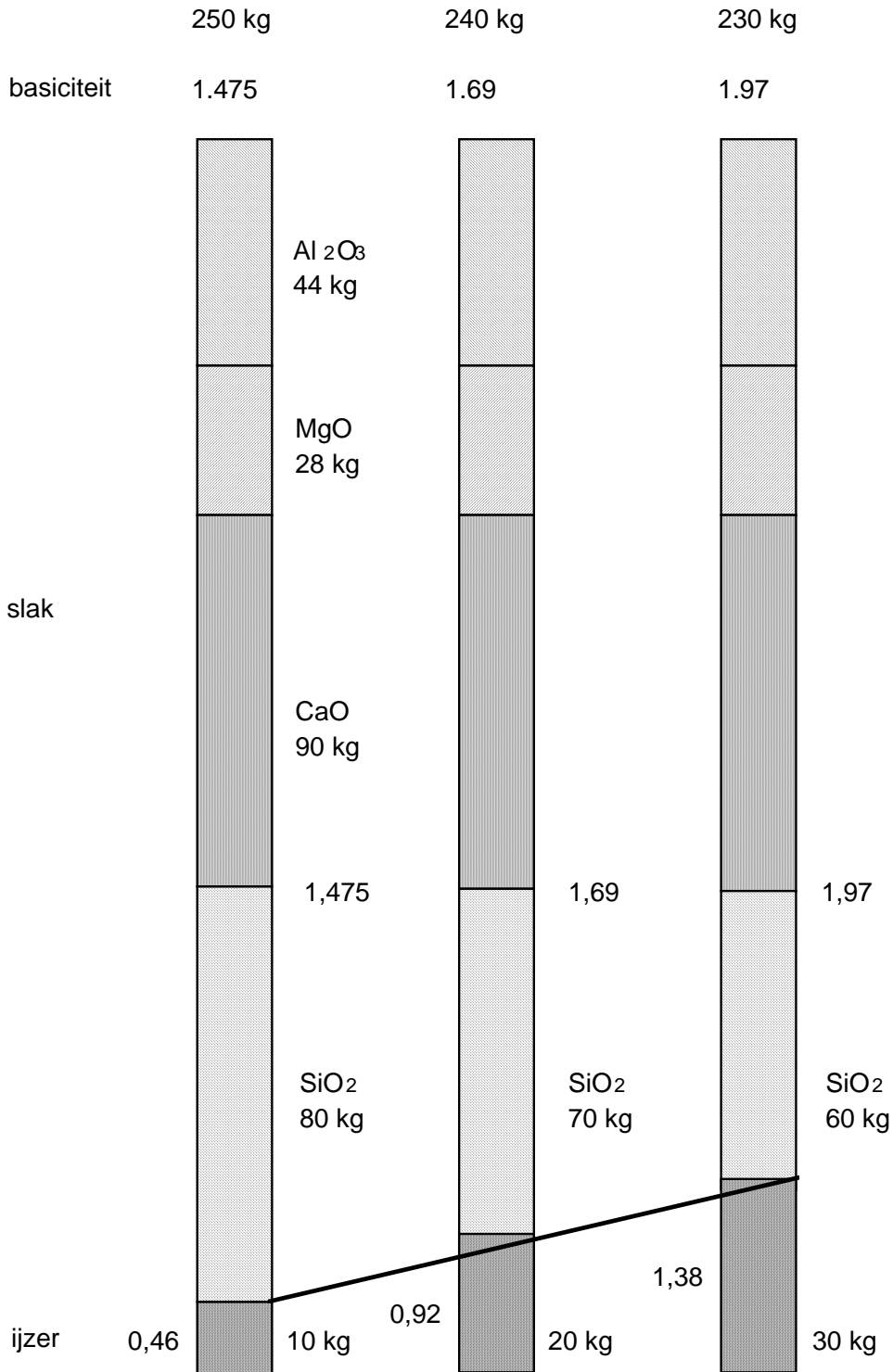
- het aanblazen
- na afregelen
- na een stilstand

In het diagram (figuur 6.3.) kunnen de gevolgen van een variërend Si gehalte voor de liquidustemperatuur van de slak afgelezen worden.

Een slakbasiciteit hoger dan 1.80 komt niet meer uit de oven en vormt daar een slakaanetting, speciaal als de smeltzone laag ligt d.w.z. als we een zeer laag koelverlies hebben.

Teneinde deze risico's te beperken wordt bij de eerder genoemde gevallen een extra zure moller gereden; dit is een moller met extra SiO₂ in de vorm van het Tazadit Silicious erts of bv. Jaspelite. Beide zijn hematiet ertsen met veel SiO₂ verdeeld in de structuur (25 - 35%).

figuur 6.4



Invloed van het siliciumgehalte in het ruwijzer op de samenstelling en de basiciteit van de slak.

6.3. Aftappraktijk.

Om een hoge produktiviteit en een goede stabiliteit van het hoogovenproces zeker te stellen, moet het nivo van het vloeibaar (ijzer + slak) in de haard zo laag mogelijk worden gehouden. We proberen dit bij HO 6 en HO 7 te bereiken door vrijwel voortdurend af te tappen. Aan één tapkant wordt gewoonlijk ca. 2 uur getapt, voordat het gas via het aftapgat meekomt. Dit wordt als de "leeg"-toestand van de haard aangemerkt. De betrokken tapkant wordt dan dichtgemaakt. Hierna wordt de ander tapkant zo snel mogelijk open gemaakt.

In situaties, waarin een tussen taptijd is ontstaan of er moeilijkheden zijn met de verwijdering van de slak, kan de tweede kant geopend worden voordat de eerste kant leeg is. Tappen over twee kanten verdubbelt de snelheid waarmee ijzer en / of slak uit de oven wordt afgetapt. Meestal komt de slak vrijwel gelijktijdig bij de twee afsteekgaten over de slakkendam. Zodra de slakken lopen, wordt nog gedurende korte tijd over twee kanten doorgetapt, waarna meestal het laatst opengemaakte aftapgat weer wordt gestopt (het z.g.n. aderlaten).

Als werkmethode hanteren we de afspraak, dat de tweede aftapkant opengemaakt moet worden als binnen 1 uur na het dichtmaken van de vorige aftap geen slakken over de dam zijn.

Er moet op gewezen worden, dat gezien vanuit het proces, het aftappen van de slak veel belangrijker is dan het aftappen van het ijzer. De slak is visceuser dan ijzer en wordt maar gedurende ca. 80 % van de ijzer-taptijd afgetapt. Qua volume wordt er ruwweg 2/3 x de hoeveelheid ijzer afgetapt. Dit betekent, dat de variatie van het slaknivo in de haard veel groter is dan de variatie in het ijzernivo. Teneinde een goede aftappraktijk te bereiken kunnen in het ovenhuis maatregelen genomen worden:

- stopmassa: de hoeveelheid stopmassa kan vergroot worden als de lengte van het aftapgat te kort is. In dit kader kan ook gekozen worden om de vormen boven de aftapgaten af te stoppen. Verder kan ook een andere kwaliteit stopmassa gekozen worden.
- openmaken: op de eerste plaats is hier de keuze tussen openboren of openstoten. Verder kan de grootte van de boordiameter zodanig gekozen worden, dat we op een goed aantal aftappen per dag uitkomen. Het belangrijkste vanuit het proces is echter niet het aantal aftappen, maar de maximale tijd dat er geen slak loopt.
- de tussentaptijd kan gevarieerd worden.

Deze belangrijkste parameters zijn in figuur 6.6. en het aftapplaatje van HO 7 aangegeven.

De "ideale" aftappraktijk is een aftappraktijk:

- waarbij net iets meer ijzer wordt afgetapt, dan er geproduceerd wordt: dus nauwelijks slijtage van het aftapgat,
- gedurende meer dan 90% van de tijd van de aftap ook de slakken lopen.

Belangrijk voor een goede aftappraktijk zijn ook:

- hoge beschikbaarheid van het rennenstelsel
- beschikbaarheid van mengers.

Stabiele procesvoering van de hoogoven hangt sterk af van een goede aftappraktijk. Bij een onregelmatige aftappraktijk zal de ijzerkwaliteit sterk gaan variëren. Hoge vloeistofnivo's in de haard leiden tot een slecht daalgedrag als gevolg van een toegenomen weerstand in de lading; het hart van de oven verstopt waardoor het gas langs de wand wordt geblazen. Dit leidt tot hoge koelverliezen en met als gevolg een koude oven en soms tot slippen van de lading.

Verder bestaat er het risico van een doorbraak of het uitbranden van een blaaspijp.

Als figuur 6.5. (december 1988) en figuur 6.6. (juni 2001) met elkaar vergeleken worden, dan ziet u hoe de aftappraktijk zich in de tijd heeft ontwikkeld.

figuur 6.5.

21 dec. 1988 17:29:57	1 aftap 2 top tien 3 koeling	4 gas 5 algemeen 6 belading	7 proces 8 injectie 9 wind	0 directe keuze
--------------------------	---	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------

16 Aftap richtwaarden

	noord	zuid	oost	
boor diameter	50	50	50	(mm)
stootstang diameter	55	55	55	(mm)
tijdsduur dicht	begin boren		0	(min)
max. tijd slak loopt	openmaken 2e kant		90	(min)
max. tijd geen slak	openmaken 2e kant		90	(min)
	lengte aftapgat		280	(min)
	strepen stoppen		5	(str)

Alle antwoorden juist (J / N):

1 noord	3 oost	5 mengers	7 correctie	9 aftapresult.
2 zuid	4 oefen	6 richtwaarden	8 analyse	0 structuur

figuur 6.6.

28 juni 2001 11:13:58	1 aftap 2 top tien 3 koeling	4 gas 5 algemeen 6 belading	7 proces 8 injectie 9 wind	0 directe keuze
--------------------------	---	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------

16 Aftap richtwaarden

	noord	zuid	oost	
boor diameter	36	38	38	(mm)
stootstang diameter	32	32	32	(mm)
tijdsduur dicht	→	begin boren	0	(min)
max. tijd slak loopt	→	openmaken 2e kant	900	(min)
max. tijd geen slak	→	openmaken 2e kant	30	(min)
		lengte aftapgat	300	(min)
		strepen stoppen	5	(str)
		zuigersnelheid snel	7	str/sec
		zuigersnelheid langzaam	20	str/sec
		aantal sec snel stoppen	70	sec
		aantal keren napersen	2	
		tussentijd napersen	90	sec
		pulstijd napersen	1,5	sec

Alle antwoorden juist (J / N):

1 noord	3 oost	5 mengers	7 correctie	9 aftapresult.
2 zuid	4 oefen	6 richtwaarden	8 analyse	0 structuur

6.3.1. Produktienivo bij 1 aftapgat HO 6/7

Met één tapgat kan een voor HO 6 en HO 7 verschillende maximale hoeveelheid ijzer en slak getapt worden. Het verschil tussen beide komt voort uit het verschil in drukniveau in de oven.

De huidige ervaring is de volgende:

HO 6 1 tapgat:	afstand vormen tapgat = 3,5 m.
	tussentaptijd 25 min.
	topdruk 1,5 bar
	max. productie 5700 ton RIJ

HO 7 1 tapgat:	afstand vormen tapgat = 4,40 m
	tussentaptijd 25 - 30 min.
	topdruk 2,3 bar
	max. productie 8000 ton RIJ

Bij een kortere tussentaptijd kan meer afgetapt worden.

Bij een hogere topdruk, zal de tapsnelheid toenemen en kan er dus meer afgetapt worden.

Over de duim kan 75% van de topproductie worden afgetapt. Een nadeel is dat bij groter boren de oude tapgating verdwijnt, wat wel eens problemen geeft bij teruggaan naar een kleinere tapgatdiameter.

6.3.2 Afbreken van een aftap en mogelijke gevolgen daarvan.

Een grote productieoven die op topcapaciteit produceert, maakt globaal gesproken gebruik van het maximaal toelaatbare drukverschil over de lading. De absolute waarde hiervan wordt gegeven door; Het gewicht van de lading (uiteraard naar beneden werkend) en de som van de opwaartse krachten oa. van het gas dat door de lading wordt geperst (en onder de smeltzone op de lading drukt) en het oprijvend vermogen van de kooks in het ruwijzer en de slak die zich in de haard bevindt.

(De haard is als het ware een bak met vloeibaar ijzer waarin kooksbrokken ondergedompeld worden als pingpongballetjes onder een vergiet in een bak met water)

Bij een praktische instelling van de Δp dicht bij het maximum, zal een vergroting van dit oprijvend vermogen, als gevolg van een te sterk gevulde haard, een oplopende kracht naar boven geven waardoor de resultante van de daalkracht (het verschil tussen gewicht en opwaartse kracht) kleiner wordt. Hierdoor loopt de regelmaat in daalgedrag terug. De oven gaat neigen naar een schokkerig daalgedrag en zal zelfs af en toe een beetje kunnen blijven hangen.

Als dat gebeurt wordt er onder in de oven ruimte gemaakt door kooksvergassing en het uitsmelten van voorgereduceerde ertspakketten.

Deze gaten worden dan niet regelmatig en direct na ontstaan opgevuld, maar na het groeien tot grotere afmetingen en wel schoksgewijs met als gevolg tamelijk heftige ladingbewegingen.

Dit kan tot gevolg hebben dat de laagjesopbouw boven in de oven wordt verstoord. Deze laagjes zijn in het "dikste" gedeelte van de oven veelal maar 15 cm dik en plaatselijk misschien maar 10 cm. Een schoksgewijs zakken kan dus snel tot "afsnijden" van de laagstructuur leiden. Hierdoor ontstaat menging en wordt de weerstand groter en de capaciteit van de oven kleiner.

Ook kan het gebeuren dat bij een niet zakkende lading de kooks in de haard opdrijft naar de ruimte die ontstaat net boven de vormen. Deze "drijvende dode man" situatie is zeer slecht voor het aftap gebeuren. De leemprop binnen in de oven breekt van de wand. Het aftapgat krijgt ijzer vanuit scheuren voordat het is doorgeboord.

Leeghouden van de oven is dus het devies

Leeghouden en dus tappen met hoeveelheden die dicht rond en boven de productiesnelheid van de oven liggen.

Deze gewenste situatie valt of staat met de regelmaat in open maken en vooral leegtappen en aansluitend overgaan naar de ander tapkant.

Als dit niet het geval is bv. omdat de aftap afgebroken wordt voordat de oven leeg is, zal de andere kant na openmaken 9 van de 10 keer alleen maar ijzer geven en globaal in een tapsnelheid die onder de productiesnelheid ligt.

Bij alleen ijzer slijt het aftapgat nauwelijks. De tapsnelheid groeit niet en de oven wordt steeds voller.

Een deel van het ijzer en alle slak blijft achter. De opwaartse kracht neemt toe, de Δp ook en de oven gaat een slechter zak gedrag vertonen.



Openen van de andere kant kan redding brengen. Deze procedure “aderlaten” verstoort de tapcyclus. De uithardingstijd van de stopmassa tussen tappen is te kort en het tapgat gaat in lengte en betrouwbaarheid achteruit.

Als aderlaten onvoldoende helpt of niet kan, moet het windvolume worden verlaagd. Dit kost productie en verstoort de processtabiliteit.

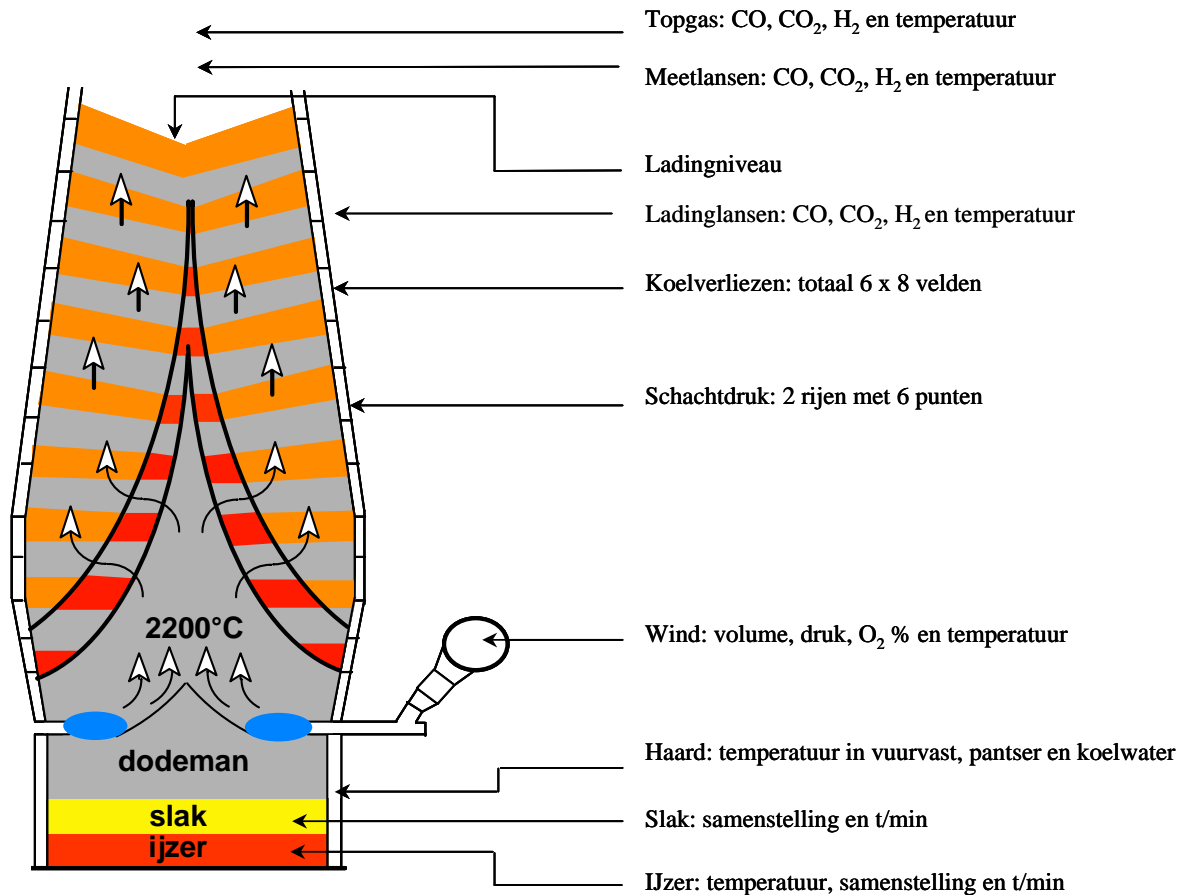
Samenvattend.

Iedere situatie of handeling die een aftap af doet breken, voordat de oven leeg is, verstoort meestal de volgende aftap en daarmee de procesregelmaat. Verlies aan productie kan het gevolg zijn, verlies aan regelmaat en daarmee kwaliteit is praktisch altijd het gevolg.

Het tijdig beschikbaar hebben van mengers is één van de voorwaarden om het afbreken van een aftap te voorkomen en daarmee van essentieel belang.

6.4. De dagelijkse processturing bij Hoogovens.

6.4.1. Overzicht belangrijkste metingen



6.4.2. Bij de dagelijkse processturing komen de vragen aan de orde als:

- De geproduceerde hoeveelheid ijzer; is deze hoeveelheid te klein, kan er opgeregeld worden; is deze hoeveelheid te groot, dan moet er afgeregeld worden of een oven moet stilgezet worden voor een aantal uren.
- De geproduceerde kwaliteit ijzer; is het siliciumgehalte van het ijzer binnen de gestelde grenzen, zo niet, dan moet er verzwaard / verlicht worden. Ook het mangaangehalte wordt bekeken en zonodig bijgestuurd.
- De geproduceerde slaksamenstelling; heeft de slaksamenstelling de juiste basiciteit? Iedere dag wordt bekeken of de totale slaksamenstelling binnen de grenzen ligt, dit is belangrijk voor het S niveau in het ruwijzer.
- De procesgang van de ovens; hierbij wordt gelet op:
 - variatie in siliciumgehaltenes
 - ruwijzertemperatuur
 - daalgedrag
 - topgastemperatuur en de harttemperatuur
 - gasbenutting
 - weerstand van de lading
 - koelverlies, zowel totaal als per veld
 - droogcapaciteit van het gas

De input in de ovens:

- windvolume
- koleninjectie (olie-injectie)
- vochtgehalte kooks en agglomeraten

De belangrijkste maatregelen zijn:

- verlichten / verzwaren van de oven
- aanpassen van de basiciteit door veranderen sinter / pelletverhouding
- aanpassen Mn-ertshoeveelheid
- verhogen / verlagen van de diverse richtwaarden:
 - windvolume
 - O₂ - volume
 - vocht
 - koleninjectie (olie-injectie)
 - richtwaarden aftappraktijk
- veranderen van de wijze van beladen mbv. slagpantserstanden of storthoeken van de verdeelgoot.

De effecten van verschillende maatregelen worden meestal uitgedrukt in SRE verbruik.

Als voorbeeld staat hierna een lijst, zoals die in 2001 wordt gehanteerd; deze lijst wordt regelmatig aangepast aan de geldende procesomstandigheden.

Procesmaatregelen en effecten

Wijzigingen bij een constant windvolume medio 2001:

	eenheid	delta	droge kooks (kg/t)	eff. prod. nivo
Si	%	+ 0,1	+ 3,0	- 1,2 %
Vocht	g/Nm ³	+ 10	+ 4	- 0,5 %
Topdruk	bar	+ 0,1	- 1,2	+ 0,2 %
Kolen	kg/t	+ 10	- 9,0	- 0,3 %
Olie	kg/t	+ 10	- 11	- 0,4 %
O ₂	%	+ 1	+ 1	+ 3,4 %
Hw temp. ° C	850 - 1000	+ 100	- 10	+ 5 %
	1000 - 1300	+ 100	- 8	+ 3,5 %
Slak	kg/t	+ 10	+ 0,5	- 0,2 %
Ongek. erts	%	+ 1	+ 1,0	- 0,1 %
Gek. erts	%	+ 1	+ 0,5	- 0,1 %
Koelverlies	GJ/hr HO 6	+ 10	+ 1,5	- 0,6 %
	HO 7	+ 10	+ 1,2	- 0,6 %
Gasbenutting	%	+ 1	- 5	+ 1,4 %

Top- en vlamtemperatuur (constant windvolume):

	delta	toptemp.	vlamtemp.
HW temp (°C)	+ 100	- 10	+ 50
Kolen (kg/t)	+ 10	+ 10	- 32
O ₂	+ 1	- 12	+ 33
Vocht (gr/Nm ³)	+ 10	+ 8	- 42
Vocht in möller (kg/trij)	+ 10	- 10	-----

6.4.3. Procesmaatregelen bij verstoringen van installatiebeschikbaarheid en ijzerkwaliteit.

In situaties, waarin er van richtwaarden qua procesinstelling afgeweken moet worden, moeten vaak tegenmaatregelen genomen worden.

In volgorde van belangrijkheid gaat het daarbij om:

1. Veilig stellen van mens en installatie.
2. Voorkomen van een zeer koude oven.
3. Bewerkstelligen dat het proces zo snel mogelijk weer op de richtwaarden bedreven kan worden.

Voor dit laatste zijn een aantal richtlijnen gegeven. Daarbij is er steeds aan gedacht, dat het terugbrengen van het proces naar de oude situatie met zich brengt, dat:

1. Het doorgassingspatroon van de hoogoven zich herstelt tot de oude situatie. (te zien aan koelverliezen en hartdoorgassing)
2. Geen warmte-tekorten in de hoogoven optreden;
De belangrijkste oorzaken van deze warmte-tekorten zijn:
 - Storing koleninjectie.
 - Plotseling verhoogde directe reductie van de lading, door ofwel onvoldoende voorreductie van het ijzeroxyde ofwel versneld zakken van de lading in of in de richting van de haard.
 - Lokale problemen, met name lekkage.
 - Extreme koelverliezen

In de situatie met warmte tekorten is er het risico, dat het gevormde gas de lading niet meer kan afsmelten en dat de smeltzone op de vormen komt te rusten.

Een aantal voorbeelden van bijzondere situaties zijn hieronder genoteerd.

Storing koleninjectie: Door storing koleninjectie wordt er achter de vormen meer kooks vergast. Daardoor gaat de lading sneller zakken en dus komt meer ijzer(erts) richting vormen. De hoeveelheid warmte is echter niet genoeg om dit allemaal af te smelten en dus zakt de smeltzone richting vormen. Dit kan na de storing hersteld worden door het omgekeerde effect, dat optreedt met extra koleninjectie. Bij langere storingen wordt de oven stilgezet.

Een overeenkomstig effect van minder uitsmeltwarmte treedt op bij tekortschietende windtemperatuur; ook dit kan hersteld worden met extra koleninjectie en extra zuurstof.

Een ander voorbeeld is diepliggen van de oven.

De "verse" lading komt te laat en te laag op temperatuur en de reductiereacties beginnen te laat. Hierdoor neemt de directe reductie toe en er zal ca. 8 uur na diepliggen een koude oven ontstaan. Tijdens de periode van diepliggen komen erts en kooks op een andere plaats op de lading te liggen, waardoor het doorgassingspatroon tenminste voor uren is verstoord. Bij peilrijden kan de top "dood" komen te liggen; dan wordt de lading onvoldoende gedroogd.

De te nemen maatregel is er op gericht dat de "verse" lading voldoende reductiegas "ziet". Daarom moet soms extra kooks worden meegegeven. Meestal is het voldoende naar rato af te regelen.

Een derde voorbeeld is een plotseling koude oven. Daarvoor kunnen veel oorzaken aanwezig zijn.

- Tekort kooks/koleninjectie: dit kan opgelost worden met extra kolen en/of kooks.
- Een plotselinge toename van de directe reductie in de onderoven; in dat geval moet de oven warmer gemaakt worden. Warmer maken betekent meer warmteoverdracht (= meer gas, hogere vlamtemperatuur) per ton ijzer en/of betere warmteoverdracht van het gevormde gas naar het ijzer. Hierbij helpt het verhogen van windtemperatuur, het extra kolen geven (= minder produktie), het afhalen van vocht (= verhogen vlamtemperatuur) en het afregelen goed.

Tenslotte nog de procesinstelling in situaties na een stilstand.

Bij aanblaassituaties zijn er twee voor het proces belangrijke thema's:

De eerste is de ligging van de smeltzone en de tweede is het tijdig droog krijgen van de lading. Na een stilstand is de smeltzone omlaag gekomen door het instorten van de raceway en extra kooksvergassing; bij aanblazen komt de smeltzone verder naar beneden door afkoeling aan de wand, gemiste koleninjectie en door minder heet gas bij de vormen. De kolen mogen niet meteen op de oven vanwege onze ervaringen met het verbranden van blaasvormen in situaties met een verstoord zakgedrag.

Dit inzakken van de smeltzone wordt weer tegengewerkt door extra kooks met de lading mee te geven. Zodra de extra kooks de onderzijde van de smeltzone bereikt, wordt de smeltzone "gelift".

Uiteraard moet de extra kooks vóór de stilstand worden gereden. Het herstellen van het doorgassingspatroon vraagt in het algemeen om een rustig opregelen van de oven. Voorkomen moet worden dat een "mittelgängige" oven plotsklaps randgängig (= hoog koelverlies) wordt, omdat het enige dagen vergt om weer in de oude processituatie terug te komen.

N.B. Wijze van extra Kooks rijden

De bedoeling van extra kooks is om de ligging van de smeltzone boven de vormen te verhogen.

Daarbij moet het doorgassingspatroon van de oven zo min mogelijk verstoord worden. De extra kooks moet zoveel mogelijk aan de wand terecht komen en goed verdeeld worden over de vullingen

6.5. Grondstoffen.

Bij Hoogovens beschikken we over 2 kooksfabrieken, 1 sinterfabriek, 1 pelletfabriek en kolen-injectie bij HO 6 / 7.

Om 1 ton ijzer te maken wordt in 2000 ruwweg gebruik gemaakt van ca. 750 kg pellets, 750 kg sinter, 40 kg toeslag (bauxiet en mangaan), 310 kg kooks, 190 kg kolen. De kwaliteit waaraan deze grondstoffen moeten voldoen wordt op een van de volgende bladzijden aangegeven. Van belang is verder dat vanwege de eigenschappen in de hoogoven de inbreng van bepaalde stoffen aan een maximum moet worden gebonden. Het gaat hierbij met name om zink, alkaliën, vocht en zwavel in de möller (tabel 1).

Tabel 1.

Normen voor de inbreng van alkaliën, zink, vocht en zwavel in de hoogoven.

<u>Soort stof</u>	<u>Max. inbreng</u>	<u>Reden</u>	<u>Afkomstig van</u>
Zink	0,16 kg/try	geen zink-kringloop in de hoogoven.	70% van het zink zit in de sinter, via de inzet van GBS (zie 4.5.)
Alkaliën	K ₂ O 1,6 kg/try Na ₂ O 1,2 kg/try	geen alkaliën-kringloop en aantasting vuurvast en kooks door alkaliën.	kooks, sinter, pellets (zie 4.5.)
Vocht	28 kg ¹	verkortingszone in de hoogoven	kooks (ca. 18 kg) en pellets (ca. 6 kg) opslagmateriaal vaak erg nat.
Zwavel	3.5 kg ¹	hoog S in ijzer	kooks en kolen
¹ Geen officiële normen.			



6.5.1. Kolen / olie

Eisen aan kolen, die in de hoogoven geïnjecteerd worden, hebben betrekking op de chemische samenstelling en de fijnheid van de gemalen kolen. Norm is dat 60% van de kolen kleiner moet zijn dan 75 micron. Verder wordt in de praktijk het koleninjectienivo op de maximale molencapaciteit afgesteld.

Voor afvalolie stellen we eisen aan de hoeveelheid vocht in de olie, die kleiner moet zijn dan 5% en aan de hoeveelheid vuil in verband met verstoppingen, dus geen filterbaar vuil.

6.5.2. Hete wind / zuurstof / vocht.

In de praktijk stelden we bij hoogovens de hetewind-temperatuur zo hoog mogelijk in, omdat de warmte die via de windverhitters in de oven gebracht wordt goedkoper is dan de warmte die we m.b.v. kooks en koleninjectie in de oven brengen. In de huidige situatie met veel extra O₂ hoeft dit niet zo te zijn

Zuurstof en vocht gebruiken we om de vlamtemperatuur binnen bepaalde grenzen te houden. Zoals bekend, wordt de vlamtemperatuur bepaald door hetewind-temperatuur, koleninjectieniveau, vochtinjectie en zuurstofinjectie.

De formule die wij gebruiken staat hieronder.

Berekening vlamtemperatuur.

$$T_{\text{vlam}} = 1550 + 0.823 \text{ HWT} - 5,0 \text{ Vocht} - \text{Finj} \times \text{INJ} + 58 \times (\text{O}_2\% - 20,9\%)$$

$$\text{HWT} = \text{° C}$$

$$\text{Vocht} = \text{gr/Nm}^3 \text{ wind}$$

$$\text{INJ} = \text{koleninjectie in kg/Nm}^3 \text{ wind}$$

$$\text{Zuurstof} = \% \text{ in wind}$$

$$\text{INJ} = \text{KI} \times 1000 / (\text{wind} \times 60) \quad \text{- of -} \quad \text{KI per ton RY X productie} / (\text{wind} \times 60 \times 24)$$

$$\text{Finj} = 22,4 \times \%C + 171,5 \times \%H + 17,4 \times \%N - 21,6 \%O + 63,1 \times (\%H_2O / (-\%H_2O / 100) + 486,9 \times \text{KW} - 60$$

% C,H,N,O in kolen op droog, % H₂O op nat, KW = kraakwarmte in MJ/kg droog

In de praktijk proberen we de vlamtemperatuur tussen de 2000 - 2300° C te houden. Bij lagere vlamtemperaturen wordt niet voldoende warmte naar ijzer en slak overgedragen, hetgeen tot gevolg heeft, dat het ijzer koud wordt, er een slecht vloeibare slak ontstaat en een slechte ontzwaveling in de hoogoven plaatsvindt. Bovendien moet dan veel gas in de raceway gevormd worden om het ijzer op temperatuur te brengen. Bij hogere vlamtemperaturen krijgen we problemen met het daalgedrag van de lading.



Bijlagen

Bijlage 1

De hoogoven als tegenstroomreactor: Consequenties voor de sturing van de doorgassing

De hoogoven is een tegenstroomreactor. De lading, bestaande uit om en om aangebrachte lagen kooks en ijzerhoudende grondstoffen, wordt koud (en nat) boven in de oven gebracht. Aan de onderzijde wordt tot 1200°C verhitte "wind" (lucht verrijkt met zuurstof) via blaasvormen in de oven geperst.

Als het proces in gang wordt gezet dan zal de hete wind in de oven (aan de binnenkant van de blaasvormen) de kooks tegen komen waardoor deze normaal reeds zeer hete kooks met de zuurstof uit de wind zal gaan vergassen.

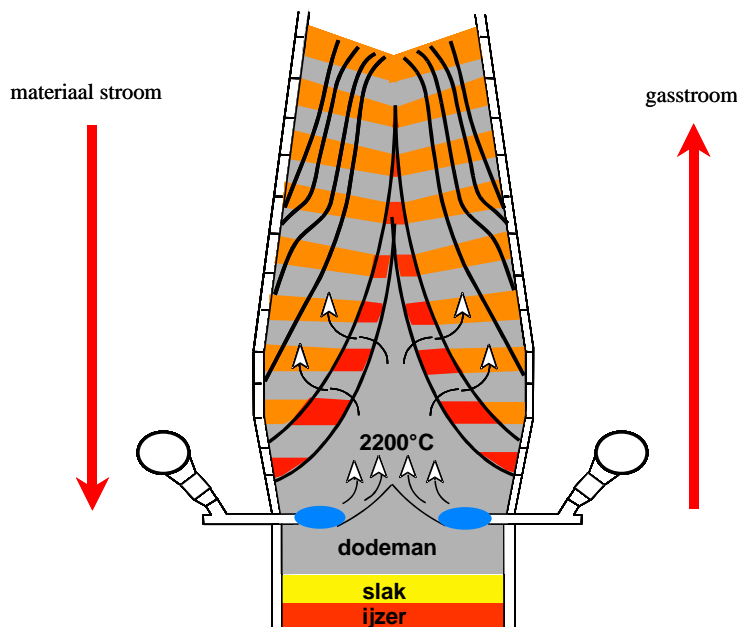
Door de hoge temperatuur en de overmaat aan koolstof zal er uit deze reactie CO ontstaan. De hoeveelheid CO is in volume het dubbele van de hoeveelheid zuurstof.

Als de wind is verrijkt tot 25% O₂ dan zal een m³ bestaan uit 750 liter N₂ en 250 liter O₂. Dit levert na vergassing (doordat O₂ + 2C → 2CO) 750 liter N₂ en 500 liter CO.

Het gas bestaat dus in dit geval na de vergassing uit 60% N₂ (inert) en voor 40% uit CO. Het volume is 25% groter en er is een zeer grote hoeveelheid energie ontstaan.

Deze reactiewarmte zit opgeborgen in het gasvolume vermenigvuldigd met de vlamtemperatuur.

De vlamtemperatuur bedraagt bij ons in IJmuiden globaal 2200°C. Dit is bijna 1,5 keer de temperatuur van het vloeibaar ruwijzer. De vlamtemperatuur heeft deze waarde omdat we er op sturen met behulp van koleninjectie (vervangt kooks) en de meer of minder grote hoeveelheid extra zuurstof. Deze extra zuurstof is sterk van invloed op de vlamtemperatuur alsook op de productiesnelheid en de topgastemperatuur.



Trekken we een theoretisch vlak, juist boven de blaasvormen, dan zien we dat door dit vlak het juist beschreven reductiegas opstijgt en zich door de daar aanwezige lading naar boven werkt. Komt dit gas uitsluitend kooks tegen dan zal de chemische samenstelling niet veranderen. Wel zal de temperatuur zakken door contact met de koudere kookslagen.

Het gas zal echter naast kooks ook ijzeroxiden tegenkomen en wel in de vorm van vaste brokken in de lagen alsook afgesmolten druppels Fe houdend FeO-slag dat uit de smeltzone over de kooksbrokken naar beneden regent. Ook hieraan wordt warmte afgestaan. Naast deze warmteoverdracht gaan nu ook chemische reacties plaatsvinden tussen het gas en vloeibare of meer vaste massa ijzeroxiden.

Het CO is in principe in staat een atoom zuurstof van het FeO los te maken onder vorming van CO₂ en Fe.

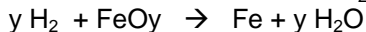
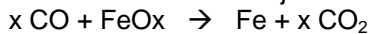
Indien dit gebeurt bij temperaturen ruim boven de 1000°C dan zal de gevormde CO₂ met C reageren tot 2 CO (solution loss). Beneden de 1050°C zal CO₂ kunnen blijven bestaan.

Waarschijnlijker is dat CO gevormd wordt doordat vloeibaar FeO over kooksbrokken afdruipt en daarbij zijn zuurstof atoom kwijtraakt aan een atoom C. ($\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$)

Bovenstaande reacties hebben met elkaar gemeen dat als eindresultaat een atoom O wordt vastgeknoopt aan een uit de vaste kooks losgeweekt atoom C.

Deze reacties staan daarom bekend als "Directe reductie" reacties. De reductie reacties die plaatsvinden uitsluitend in gasvormige toestand heten daarom 'Indirecte reductie' reacties. Voor niet specialisten is dit verwarrend. Beter is daarom te spreken van directe- en gasreductie reacties.

Gasreductie reacties zijn hoofdzakelijk de twee onderstaande.



Omdat de verhouding Fe \leftrightarrow O verschillende waarden kan hebben is hier van x en y gebruik gemaakt. IJzeroxide komt in de hoogoven voor als Fe₂O₃, Fe₃O₄ (FeO + Fe₂O₃), FeO en mengsel van FeO en Fe in smelts.

De effectiviteit van het hoogovenproces wordt uitgedrukt als resultaat van de gasreductie en wel als aandeel CO₂ tot CO.

Hoe meer CO₂ tov. CO er gevormd wordt des te beter loopt het reductie proces.

Daar CO₂ ontstaat uit de gasreductie zal het duidelijk zijn dat een bijzonder goed contact tussen het gas en de te reduceren ijzeroxiden van groot belang is voor het optimaal verlopen van de reductie reacties.

De lading moet dus goed doorlaatbaar zijn en de verhouding tussen de hoeveelheid reductiegas en de hoeveelheid te reduceren ijzeroxiden moet binnen redelijke grenzen zo goed mogelijk aan elkaar gelijk zijn.

Natuurlijk moet het ijzeroxide zich ook laten reduceren. De reduceerbaarheid moet goed zijn. Echter bedenk, dat reductie in de gasfase alleen plaats vindt als het gas ter plekke kan komen. Ervaring door de jaren heen laat zien dat problemen met de bulkdoorlaatbaarheid veel eerder en veel frequenter optreden dan problemen met de reduceerbaarheid. Het best reduceerbare materiaal ligt op het ertsveld voor de agglomeratiefabrieken, maar is praktisch ondoorlaatbaar en daarmee voor een hoogoven onbruikbaar.

Ten aanzien van de doorlaatbaarheid over de doorsnede (cq straal) van de oven blijven nog wat problemen bestaan. De doorlaatbaarheid van de lagenstructuur wordt grotendeels bepaald door het aandeel fijn (< 4 mm) dat zich in een bepaalde zone ophoudt. Daar bij onze möller alleen in de sinter (en eventuele stukertsen) materiaal < 4 mm voorkomt, houdt dit in dat de sinter sterk bepalend is voor de aanvangsdoorlaatbaarheid.

Tijdens reductie van de ijzeroxiden vindt vergruizing en dus fijnvorming plaats. Bij een lage doorlaatbaarheid en daaraan gekoppeld een lage opwarmingsnelheid is dit effect het grootst. Ook hier geldt dat de gevoerde sinter op dit punt gevoeliger en extremer is dan de "homemade" Olivijn pellets. Conclusie moet dus zijn dat het zeer belangrijk is de kwaliteit van de sinter (FeO, Hosim) nauwlettend en voortschrijdend te volgen.

Het vastleggen van de effectiviteit van het hoogovenproces vindt continu plaats door het meten van de topgasanalyse. Tevens wordt bij moderne hoogovens het verloop van de gasbenutting over de straal bepaald. Hieraan kan men zien waar de volumeverhoudingen bij benadering goed liggen en waar niet.

Bedenk wel, dat het verhogen of sterk verlagen van de gashoeveelheid aan de wand niet zonder gevolgen is voor de smeltzone en het zakgedrag en daaraan gekoppeld de koelverliezen en de gasbenutting. Ofwel ga niet extreem laag met het kooksaandeel want dat ondergraaft het zakgedrag met de rest als gevolg.

De topgasanalyse geeft een redelijk beeld van de gedragingen van de oven over een wat langere termijn. De absolute waarde van de te bereiken benutting is tevens afhankelijk van de hoeveelheid H₂ die in het topgas zit en uiteraard de verblijf tijd van het gas, als ook van de C over FeO_x verhouding. Gesproken wordt normaliter over de CO efficiency ofwel ETA CO. Echter het H₂ doet net zo goed mee aan de "zuurstof afbouw" van de FeO_x.

Voorbeeld;

Heeft het topgas 6% H₂ dan is (bij η_{H₂} = 40%), 4% omgezet in H₂O. Deze 4% zuurstof had bij ontbreken van H₂ aan CO gekoppeld kunnen zijn.

In theorie; + 4% CO₂ en – 4% CO

$$\eta_{CO} \text{ was } \frac{23}{27 + 23} = 46\%, \text{ wordt } \frac{27}{27 + 23} = 54\%$$

Beter zou het zijn te spreken over topgasefficiency als zijnde

$$\frac{CO_2 + H_2O}{CO + CO_2 + H_2} = \frac{23 + 4}{27 + 23 + 6} = 48,2\%$$

omdat hiermee de concurrentie van H₂O tav CO₂ vervalt. Echter H₂O reductie is niet te bepalen vanwege andere vochtbrengers en het aannemen van een rendement is ook discutabel. Bedenk echter wel dat een hoogoven op hoog H₂ in het topgas (hoge koleninjectie) altijd een wat lagere η_{CO} zal tonen.

De ETA CO (η_{CO}) is overigens ook nog gevoelig voor de Fe ↔ O verhouding. Bij zuivere hematieten is dit 1,5 tav Fe, bij magnetieten 1,33.

Onze sinter bevat 15% FeO en dus 11,67% Fe met een 1,0 verhouding en 46,83% met 1,5 (1 : 4). De gemiddelde Fe over O is daarmee $\frac{80 \times 1,5 + 20 \times 1,0}{100} = 1,4$

Bij 50% sinter in de möller bevat de HOO möller dus 3% minder af te bouwen O atomen dan een 100% pellets möller. Dit geeft snel een nadelig effect van – 0,4 CO₂ en + 0,4 CO of wel bij 100% Fe₂O₃ krijgen we als η_{CO} ;

$$\frac{23,4}{23,4 + 26,6} = 46,8$$

23,4 + 26,6

zijnde 0,8% tav de oorspronkelijke 46,0%

Bovenstaande rekenredenering is opgezet om aan te geven dat er verklaringen zijn waarom onze η_{CO} soms veel lager ligt dan die bij aanpalende andere bedrijven, echter 49% η_{CO} moet bij 90% topvermogen redelijk haalbaar zijn.

Hogere waarde zij alleen goed mogelijk als we de “zwakste zone” verbeteren. Dit is in eerste instantie de “centrale doorgassingszone” en in tweede instantie het wandbereik.

We moeten ons daarbij wel realiseren dat de centrale doorgassing wordt nagestreefd om de gasdistributie van binnen naar buiten te laten verlopen onder voorwaarde dat de Δp binnen de perken blijft. Bij hoge producties zijn we echter snel geneigd de hartdoorgassing te uitbundig na te streven waardoor een steile smeltzone ontstaat met als onlosmakend effect dat de “wortel” van de smeltzone te laag boven de vormen komt te staan. Dit zeker in die gevallen waarbij het Si van het ruwijzer gemiddeld aan de lage kant komt. Immers het resultaat is een mix van zeer hoog Si uit de centrale zone aangemengd met (te) koud (te) laag Si houdend ruwijzer uit het wandbereik. Het is daarom ook gewenst bij hoge productieniveaus de Δp dicht tegen de toelaatbare waarde aan te zetten teneinde met een zo beperkt mogelijke hartdoorgassing te kunnen blijven draaien. De wanddoorgassing kan daarmee redelijk dicht bij het optimum blijven en de positie van de wortel van de smeltzone, gegeven de instelling, zo hoog mogelijk.

Aan het afsmoren van de hartdoorgassing zit wel een gevaar.

De vermindering van de gasstroom door het centrum van de oven zal een toename van de gashoeveelheid bewerkstelligen in het tweede gebied met een relatief hoge doorlaatbaarheid. Dit is normaal altijd de wandzone. Deze zone is zo doorlaatbaar, omdat bij afleggen van het traject van de keel naar de rust het fijne materiaal van gat tot gat valt en daarmee vrijwel verticaal wordt verplaatst terwijl de ontstane ruimte aan de wand wordt opgevuld met over elkaar glijdend relatief grofkorrelig materiaal. De massadichtheid loopt hierbij terug en de doorlaatbaarheid op. Als dit effect te groot wordt dan zal de wortel van de smeltzone in het directe wandgebied veel hoger komen te liggen dan in de zone globaal één meter uit de wand.

Bij een te sterk effect zal deze positie in de kolenzak of zelfs onderschacht komen, waardoor de bij een wegzakbeweging ontstane kieren tussen lading en wand niet meer wordt gedicht. Dit geeft aanleiding tot ontstaan en instandhouding van gasjets en koelverliezen en op den duur ontoelaatbare slijtage in de onderschacht.

Een bijkomend effect van onderdrukking van de hartdoorgassing is het oplopen van de gasdruk onder de smeltzone. Als deze druk niet wordt beheerst door een aangelegde maximale waarde, dan zal de opwaartse gasdruk het gewicht van de lading gaan compenseren. De gewichtsresultante die voor het zakken zorgt wordt dan te klein om de lading gelijkmatig te laten zakken met als gevolg dat de oven "hangerig" wordt.

Ook dit leidt tot ongewenste kiervorming in het (conische) wandbereik met gasjets en koelverliezen tot gevolg. Daarenboven zal het veel te snel afgekoelde gas niet meer aan de gasreductie deelnemen waardoor de directe reductie gaat stijgen en de oven koud zal worden.

Kortom bij een gegeven bevredigende ladinglaagjes verdeling kan de hartdoorgassing zo ingesteld worden dat de oven vrijwel tegen zijn max. Δp aanzit. Als echter het zakgedrag zijn regelmaat verliest en er sprake is van perioden met een hogere en lagere zaksnelheid dan is de grens van het toelaatbare overschreden en moet er naar een andere instelling worden gezocht.

Door bij HO 6 de max. Δp te begrenzen op 1,8 bar en bij HO 7 op 1,9 bar zijn we in staat om bij redelijk normale omstandigheden een soepel zakgedrag te handhaven. Bedacht dient te worden dat de gasdruk in de oven onder de smeltzone globaal een 0,5 bar lager ligt dan de winddruk. (plaatjes 7141-7142).

Het is deze Δp tussen onderzijde smeltzone en topdruk, die het zakgedrag bepaalt.

Onder de huidige omstandigheden (augustus 2000) is de Δp tussen windleiding (broekstuk) en onderste wanddrukmeting zelfs globaal 0,6 bar. Bij een gemiddelde Δp van 1,7 bar is de gangbare drukval over de lading ongeveer 1,1 bar (indien geen invloeden vanuit de haard optreden). Gezien de doorlaatbaarheid van de kooks mag verondersteld worden dat dit ook ongeveer de druk is die aan de smeltzijde van de verwekingszone heerst, mogelijk 0,1 bar lager.

HO 7 heeft bij diepblazen laten zien dat de ijzerinhoud van de oven 2100 + 150 (reeds gesmolten) = 2250 ton RY is. Dit is ongeveer 60% van het working volume.

2250 ton RY vertegenwoordigt een gewicht van $2250 \times \{ 1,54 + 0,31 \} = 4163$ ton möller materiaal.

De opwaartse kracht van het gas is globaal $\{ \varnothing 14,00 \rightarrow 153,86 \text{ m}^2 \times 11 \text{ t/m}^2 \} = 1692$ gerekend vanuit de onderrust en $\varnothing 15,6 \rightarrow = 2100$ ton \uparrow force gerekend op kolenzakdiameter. Dit is ruw geschat de helft tot 40% van het op actieve kooks drukkende gewicht.

Het lading gewicht is dus altijd in staat de oven soepel te laten zakken tenzij er andere krachten ontstaan die gezamenlijk de helft van het ladinggewicht benaderen, bv. een extra Δp van 0,5 bar of een extra opwaartse kracht van 600 ton tgv. niet getapt ijzer. Echter onder normale omstandigheden zal de oven altijd gelijkmatig willen zakken.

Het wordt evenwel duidelijk anders, als de oven door oplopende weerstand veel te weinig wind aanneemt. Stel: bij 80% wind zakt de Δp over de inblaasafkapping tot $\{ 64\% \text{ van } 0,6 = \} 0,38$ en de Δp stijgt tot 1,78. De Δp_{lading} is daarmee 1,4 en de \uparrow force 2673 ton maximaal. De speling wordt kleiner maar is nog wel voldoende.

Een "zwak" punt in deze redenering is de centrale kookskolom. Deze weegt gemiddeld $0,5 \text{ t/m}^3$. Bij een kolomhoogte van 18 à 22 meter is het gewicht in evenwicht met de opwaartse krachten onder de kolom. We kunnen dus verwachten dat bij oplopende druk de centrale kookskolom instabiel wordt en bij een lichte slipsituatie uit de laagopbouw wordt geblazen, hetgeen bij HO 6 ook een aantal keren is geconstateerd.

Dat dit niet vaker optreedt komt hoogstwaarschijnlijk omdat de "tanden" van de ertslagen in de wand van de centrale kookskolom dringen en deze verankeren.

De boven geschetste situatie betekent wel, dat een oplopende druk leidend tot onregelmatig zakgedrag, deze uitstootsituatie eenvoudig kan doen ontstaan.

Wil men binnen de geschetste grenzen blijven en de oven toch optimaal benutten, dan zal men vanuit een licht overdreven centrale doorgassing moeten starten. Het is dan gewenst de hartwerking in kleine weloverwogen stappen te verminderen. Intussen wordt op de plaatjes 7141 en 7142 (de wanddrukmeting) de 45 topgasanalyse serie alsmede via de koelverliezen gevolgd of de lading nog steeds regelmatig zakt. Zo gauw er pieken in de koelverliezen optreden of de wanddrukmeting wordt onrustig laat de oven ons weten dat de grens is bereikt cq. overschreden.

Reageer via het opensturen van het hart alleen als een langdurige weerstandsopbouw daarom vraagt. Anticiperen met topinstellingen op een te volle oven of een tijdelijk matige möllerkwaliteit laat het proces wegdrijven van het optimum. Reageer in deze situatie met afregelen en wel zover dat de windmachineregeling stabiel blijft.

De centrale doorgassing moet beslist niet sterk worden overdreven. Het gas dat "teveel" door het hart loopt wordt onttrokken aan de overige secties en wel voornamelijk aan het wandbereik. In de zone met een overmaat aan fijn (en dus een hoge doorstromingsweerstand) is het gasaanbod veelal toch reeds aan de krappe kant. Te overvloedige hartdoorgassing zal deze ondermaat versterken waardoor de directe reductie op deze positie zal toenemen en de wortel van de smeltzone zal gaan zakken. Onregelmatige analyses en gevaar voor blaasvormverbranding zal het resultaat zijn. Bij te extreme toepassing van de hartdoorgassing zullen er vormen in de oven worden getrokken.

Terug naar de gasreductie

Niet alleen de volumestromen en de reduceerbaarheid zijn belangrijk voor het reductieresultaat maar ook het tijd - temperatuurstraject waarin de reductiereacties kunnen plaatsvinden heeft een enorme invloed op het resultaat.

De onderste temperatuurgrens ligt globaal op 500°C, de bovenste temperatuurgrens valt samen met de temperatuur waarbij de kooksreactiviteit de solutionloss laat prevaleren, stel 1050°C. De verblijftijd in deze temperatuurband en de reactiesnelheden bepalen het resultaat dwz. de benadering van het praktisch evenwicht.

Om deze tijd te vergroten moet bij een gelijkblijvende productiesnelheid gezorgd worden dat de begin situatie snel wordt bereikt. Het topgas moet de lading snel kunnen drogen en opwarmen tot 500 à 550°C.

Topgasenergie is een restpost evenals koelverliezen; noodzakelijk maar zo laag mogelijk.

Bij een optimaal lopend proces is de topgastemperatuur gemiddeld dus laag, stel globaal 100°C.

De behoefte aan droogcapaciteit zou dus laag moeten zijn. Dit is alleen te verwezenlijken met droge of zo droog mogelijke grondstoffen.

Benatten van grondstoffen ter bestrijding van stofoverlast is misschien wel eenvoudig en goedkoop maar tegenstrijdig en sterk negatief werkend in relatie tot optimale reductieresultaten vertaald naar SRE per ton en daaraan gekoppeld productiecapaciteit.

Hierbij komt, dat metingen hebben uitgewezen, dat de lading bijzonder snel wordt opgewarmd indien reeds droog (10 tot 20°C/min), dit mede omdat de hoge benodigde droogcapaciteit feitelijk een te groot gasvolume per ton veroorzaakt. Dit verkort de tijdspanne tussen 500 en 1050°C alhoewel de reductie overgangen en de bijbehorende temperatuurplateau's dit weer compenseren. Voorts is een snelle temperatuurooploop bevorderlijk voor het onderdrukken van de reductievergruizing.

Wenselijk is natuurlijk wel, het niveau van droog – nat te controleren. Hiertoe zijn aan de wand speciale zg. korte ladinglansen ingebouwd.

Deze meetlansen zijn ingebouwd op een niveau globaal gelijk aan 3,5 m beneden het ladingoppervlak. Dit is voor HO 6 $3,5 + 0,8 = 4,3$ meter beneden het nul niveau en voor HO 7 $3,5 + 2,3 = 5,8$ m beneden de onderkant van het verstelbaar slagpantser.

De lansen steken 0,9 m in de lading en zijn voorzien van 3 temperatuur opnemers en wel op 0,15 m, 0,5 m en 0,85 m uit de oorspronkelijke ongesleten wand. De meetpijpen zijn in paren uitgevoerd, hierdoor bestaat tevens de mogelijkheid gasanalyse bepalingen uit te voeren. Dit is in de praktijk ook zo uitgevoerd toen de punten 1 op de 4 meetlansen boven de lading vervallen werden verklaard. De 4 opengevallen posities zijn 2 x 2 aangesloten op de korte meetlansen en wel op 0,15 en 0,85 m uit de oorspronkelijke wand.

Zoals hierboven reeds gesteld is het hoofddoel van de korte meetlansen; Het bewaken van de gasreductieschacht lengte, door continu de temperatuur van de lading op 3,5 m – te meten. Speciaal in geval van opslagpellets is dit uitermate belangrijk. Opslagpellets kunnen tot 5% meer vocht bevatten dan pellets direct van de PEFA. Dit betekend per ton RY een extra vocht inzet van $800 \times 0,05 = 40$ kg

Het "normale" niveau van de inzet is ongeveer 30 kg/tRY waarvan 7,0 kg via de pellets, 2,5 kg via de sinter, 20 kg via de kooks en een heel klein beetje via Bauxiet cq. stukerts.

De droogcapaciteit van de lading wordt eveneens beïnvloed door het percentage zuurstof in de wind. De korte meetlansen" zijn daarmee ook een instrument om het gewenste percentage zuurstof te trimmen.

De ervaring leert dat een temperatuurband van 300°C aan de wand tot 600°C aan het meetpunt op 0,85 m, een voor de oven gunstige temperatuur instelling weerspiegelt. Een oplopende temperatuur aan de wand is normaal geen probleem zolang de koelverliezen geen "piekgedrag" gaan vertonen. Bedacht moet wel worden dat de gemiddelde topgastemperatuur een grote invloed heeft op de gemeten "droogcapaciteit". Hiervoor geldt uiteraard ook dat deze topgastemperatuurwaarde met KI en O₂ op het gewenste niveau is te trimmen.

De invloed van het aandeel fijn op de gedragingen van de tegenstroomreactor

Bekend mag worden verondersteld dat men weet dat de weerstand oploopt bij doorgassing van steeds fijner wordend materiaal. Bestaat dit materiaal uit korrels van eenduidige vorm bv. knikkers dan blijft de relatieve vrije ruimte gelijk, alleen het aantal groeit en de afmeting per gaatje wordt kleiner en daarmee de weerstand hoger.

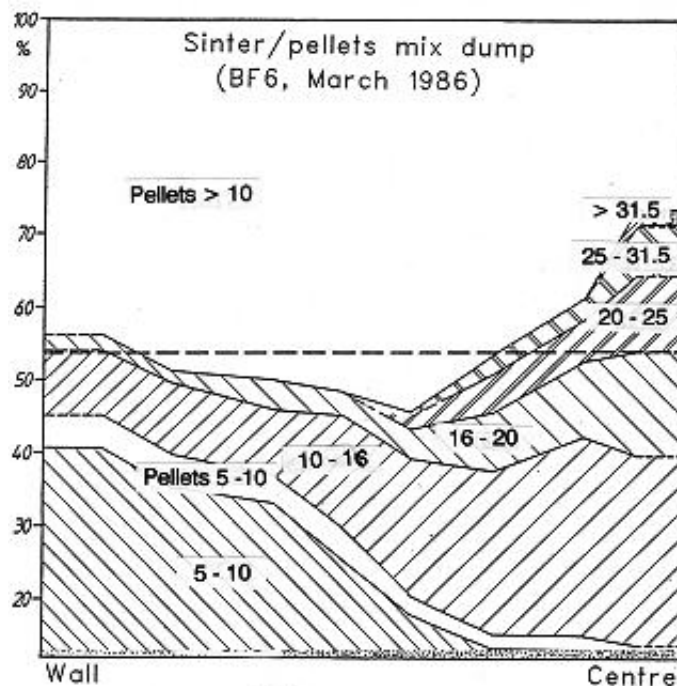
Gaan we meten aan materialen met zeer verschillende afmetingen dan ontstaat nog een tweede effect dat veel sterker door werkt en wel het vullen van de openingen tussen grove korrels door korrels met een kleiner afmeting. Hierdoor loopt het aandeel vrije ruimte sterk terug en het restant bestaat uit veel zeer kleine openingen. Een op zichzelf goed doorlaatbare stapeling kan met 20% extra fijn vrijwel gasdicht worden gemaakt.

Deze situatie kan in een hoogoven betrekkelijk snel optreden, met name bij een standaard 2 klokken beladingsysteem. Het fenomeen ontstaat door segregatie tijdens de glijbeweging en concentratie onder het gemiddelde stortpunt.

Bij materialen met een zogenaamde lange zeefband zal, bij het trekken van de grote klok, het fijn door de materiaallaag heen zakken en via het klokkoppervlak aan de binnenkant van de valbaan komen. Het fijn concentreert zich dan in de oven aan de binnenkant van het gemiddelde stortpunt. Deze stapeling zakt wel wat uiteen en naar binnen maar vertoont geen afroleffect, dit in tegenstelling tot grovere materialen. Als de ring, waarin het fijn zich overwegend opstapelt, 33 1/3% van het oppervlakte is, dan bevat deze ring bij 5% fijn in de bulk een "eigen" gehalte van 15%. Dit maakt deze laag slecht doorlaatbaar (minstens een factor "twee"). Deze "gevulde" structuur verdunnen met 50% pellets zal niet helpen omdat pellets geen "interne" doorlaatbaarheid hebben. Het in overmaat aanwezige fijn zal met de iets grovere sinterbrokjes de ruimte tussen de pellets vrijwel geheel opvullen waardoor alleen wat rand doorlaatbaarheid overblijft.

In deze "werksituatie" is het dus van levensbelang het % fijn in de sinter zo laag mogelijk te houden.

Bij de stortproeven tijdens het vullen van HO 6 in maart 1986 hebben we "harsmonsters" uit de oven gehaald en breedvoerig bemeten. Hierbij bleek dat een "schone" mix van pellets en sinter een dichtheid had van rond de 1,8 à 1,9 (sinter 1,80 à 1,85; pellets 2,0 – 2,05 ton/m³) maar dat in de zone met het meeste fijn, de dichtheid werd bepaald op 2,04 à 2,05 op een positie zo'n 0,1 à 0,2 R uit de wand. De doorlaatbaarheid in deze zone liep terug naar zo'n 60% (relatief).



Het zal duidelijk zijn, dat de met fijn gevulde lagen relatief weinig doorgassing hebben en daarom zeer traag drogen. De massadichtheid is groter, de weerstand hoger en het ingevulde fijn is ook nog de natste fractie uit de sinter. Weliswaar is onze sinter normaal relatief droog $n_l < 0,5\% \text{ H}_2\text{O}$, echter bij

uitschieters en in geval van opslag sinter zou de fijne "invul" fractie gemakkelijk 3 à 5% H₂O kunnen bevatten.

Bovendien moeten we bedenken dat volgens "Het principe van Watt" reeds verdampt vocht kan condenseren op naastgelegen koudere lagen, afhankelijk van de temperatuur en de optredende dampspanning. Niet uitgesloten moet worden dat deze ingevulde zones soms nog natter worden dan ze al waren.

Droog worden zal zondermeer lang duren en de afstand tot het gangbare gasreductie-evenwicht steeds groter en daarmee de groei van de directe reductie. Opletten en snel reageren door opvoeren van de droogcapaciteit is het devies. Uiteraard is goed afzeven primair belangrijk.

Een vervelende bijkomstigheid is dat bij het reductieproces gaande van Fe₂O₃ naar Fe₃O₄ een vergruizing optreedt die volgens de HOSIM test gemakkelijk kan oplopen tot 20% op testbasis. Naarmate de reductiestap langzamer verloopt zal de vergruizing toenemen. In de meest verstopte lagen zal dit effect op zijn sterkst zijn. Zolang de oven zeer soepel zakt en de onderlinge bewegingen beperkt zijn, kan het effect van deze vergruizing meevallen. Bij schokkerig zakgedrag laat het gesommeerde effect weinig te raden over. Het reeds aanwezige fijn wordt dan snel aangevuld met de door de reductie ontstane fractie.

Sterk verlagen van het gasaanbod lijkt dan de enige oplossing om te overleven.

Het streven moet dus zijn, zo weinig mogelijk fijn en zo goed mogelijk verdelen over het oppervlak.

De koelverliezen en de relatie tot de procesgang

Het hoogoven proces vindt plaats in een temperatuurgebied van 10°C boven in de oven tgv. de koude lading en een maximum van 2200°C in de raceway tgv. de kooks/kolen-vergassing voor de vormen. De wand van de oven wordt bovenin belast door langs trekkend gas en matig stralende lading. Dit systeem blijft bestaan tot dieper in de oven daar waar de verweking begint. Ook hier vindt warmteoverdracht voornamelijk plaats via langs trekkend gas en flink toegenomen straling vanuit de lading. In het nog lager gelegen gebied komt hier nog bij, de warmte die overgedragen wordt door langsvloeiend al dan niet met elkaar gemengd slak en ijzer.

In hoeverre de warmteoverdracht naar de wand leidt tot hoge fluxen is afhankelijk van de opbouw van het wandsysteem en het ontstaan van kieren tussen bewegende lading en het wandsysteem.

In een nieuwe nog maar beperkt uitgesleten wand zal op deze wand nog nauwelijks een tussenlaag zijn ontstaan. Deze tussenlaag, proceshuid genoemd, vindt nauwelijks een mogelijkheid tot verankering en zal dus regelmatig afbrokkelen en verdwijnen. De gasstroom en de straling zit dan direct op de stenen en de koelers en de fluxen zullen dus relatief hoog zijn.

Bij een meer uitgesleten hoogoven steken de koelplaatneuzen voldoende door de bekleding in de ruimte van de bewegende lading. Bij een juist gevoerde procesgang ontstaat dan de mogelijkheid tot aanvriezen en verankeren van een tussenlaag die relatief dun is, naar schatting 5 à 8 cm en die over de neuzen van de koelplaten loopt in een gebied vanaf de bovenrust tot ongeveer halweg de schacht; de proceshuid.

Bij voldoende stabiel zijn van deze proceshuid zal de overgebleven ruimte tussen de binnenkant van de proceshuid en de Hot Face van de vv stenen zich opvullen met stof, fijn poederachtig materiaal dat goed is te doorboren en bij analyse blijkt te bestaan uit 50% koolstof, 1/3 pyrofoor Fe en de rest slakbestanddelen.

De proceshuid zelf is hard en ook nauwelijks te stuk te stoten en is daarmee in staat het systeem sterkte te geven.

Bij aanwezigheid van deze proceshuid zal de invloed van een gematigde gasstroom en de straling vanuit de lading gesmoord worden in het stof waardoor de fluxen laag blijven.

Het is een systeem wat onder de huidige omstandigheden bij gematigd middelgàngig sturen, zeer goed in stand te houden is. Het levert relatief zeer lage koelverliezen. In de onderschacht en in de kolenzak, ons oude probleemgebied, zijn de koelverliezen vaak nauwelijks te meten.

Voorwaarde voor instandhouding is wel dat de gasstroom langs de wand beperkt blijft. Te hoge gasstroomsnelheden kraken de proceshuid waardoor het stof wordt weggeblazen en de invloed van de gassen en de straling weer rechtstreeks op de wand worden uitgeoefend.

Regelmatig zakgedrag is de primaire voorwaarde voor de instandhouding van dit systeem.

Daar de proceshuid hoogstwaarschijnlijk bestaat uit gedeeltelijk gereduceerde ijzeroxide, eventueel ingevuld met kringloopstoffen, lijkt het duidelijk dat daar waar de temperaturen relatief laag blijven, deze situatie niet zal ontstaan. We zien in de bovenschacht, waar de lading granulair is, dan ook altijd koelverliezen, gelukkig van relatief laag niveau.

In de rust schraapt de meer of minder vertande smeltzone langs de wand en schuurt de kooks eveneens de wand omdat de kleiner wordende diameter voor een goed contact zorgt. Ook hier zijn altijd relatief beperkte koelverliezen aanwezig, overigens vnl. dankzij de vloeibare slak. Als het proces zo gestuurd wordt dat de proceshuid zich moeilijk kan handhaven dan zullen op de koelverlies meting piekvormige belastingen te zien zijn. Het is dan zaak de doorgassing zo te trimmen dat voorkomen wordt dat de gehele proceshuid verdwijnt. Als de situatie ontstaat tgv een ondermaat aan hartdoorgassing (hoge η_{CO} op punten 2) dan kan het hart wat verder worden opengestuurd. Als de grondstoffen of een eventueel te hoge haardvulling hiervoor verantwoordelijk zijn, is het zaak het productievolume terug te nemen. Beide laatste oorzaken vertalen zich naar een moeilijk te beheersen zakgedrag dat aanleiding geeft tot kiervorming tussen de proceshuid en de lading. Dit heeft erosie van de proceshuid en kaalslag als gevolg. Wederom opbouwen van verdwenen proceshuid lukt alleen tijdens zeer goed zakgedrag. Het proces dus in die richting sturen.

Koelverliezen zijn te vergelijken met koorts. Je kunt wel proberen de koorts te onderdrukken maar als je de patiënt niet echt geneest blijft de bron bestaan en ligt herhaling voor de hand. Bij te hoge koelverliezen deugt het proces niet en zal via aanpassingen in het proces een situatie moeten worden geschapen die tot een soepeler zakgedrag leidt met als het even kan een lagere Δp . Onderdrukken van koelverliezen leidt uiteindelijk tot een verbeterd SRE. In de omkeerfase echter moet de η_{CO} in het centrum van de oven goed worden gevolgd omdat bij reeds open gestuurd hart en nog niet verdwenen koelverliezen er eenvoudig een SRE te kort kan ontstaan. Overigens zullen de koelverliezen via de vormen wel altijd duidelijk aanwezig zijn. Enige isolatie in het windkanaal via SiC inserts helpt wel wat, maar flink koelen aan de buitenconus lijkt blijvend gewenst om de vormen te beschermen.

De bulkdoorgassing

Als we de grondstoffen die we in een hoogoven laden afzonderlijk onderzoeken op specifieke gasdoorlaatbaarheid, dan blijkt de weerstand tegen doorgassing van lagen sinter resp. pellets zo'n 3 à 4 maal hoger te zijn dan de specifieke weerstandswaarde van kooks.

Hierbij dient bedacht te worden dat dit soort metingen altijd worden uitgevoerd op goed, op een bepaalde maat, afgezeefd materiaal en dat opeenhoping van fijn dan wel toename van fijn door transportvergruizing niet in beschouwing wordt genomen. Hieruit volgt dat de verschillen in de praktische situaties in de hoogoven alleen verder zullen toenemen.

Het zal duidelijk zijn uit het bovenstaande dat de in de hoogoven opgebouwde formatie van ertslagen (gerekend vanaf vulniveau tot en met de binnenzijde van de smeltzone) bepalend zal zijn voor de weerstandsofbouw in de oven en dat hierbij de weerstand van de tussenliggende kookslagen van secundaire invloed is.

Om deze redenen is het ovenproces gebaat bij een relatief constante ertslaagdikte en reproduceerbare laagopbouw. Als het gewenste optimum eenmaal is gevonden, dan kan dit worden vastgehouden.

Echter, gaat om welke reden dan ook het kooksverbruik per ton sterk variëren, dan zal men in deze situatie het kooks gewicht moeten aanpassen bij gelijk ertsgewicht en niet andersom zoals dat vroeger (tot 1989) het geval was.

Deze situaties doen zich frequent voor bij een wisselende hoeveelheid externe energie-input in de vorm van bv. olie-injectie, koleninjectie, aardgasinjectie of teerinjectie.

Deze kooksvervangende reductiemiddelen beïnvloeden het kooksgewicht per dump en daarmee ook direkt de kookslaagdikte. Door de ertslagen constant te houden is de invloed op de weerstandvormende lagen beperkt en daarmee ook de invloed op het doorgassingsprofiel.

Deze filosofie is in 1988/89 vormgegeven door radicaal om te gaan van de tot dan toe gevoerde "constante kookslaagdikte" praktijk naar de huidige situatie met een tamelijk "constante ertslaagsdikte". Dat de ertslagen niet "absoluut" constant zijn heeft een tweede duidelijk aanwijsbare reden en wel de volgende:

Bij de huidige besturingsfilosofie wordt gestuurd op een gewenste hoeveelheid "hartdoorgassing". Om dit te bereiken wordt een centrale kookskolom gecreëerd waarvan de diameter sterk wordt

bepaald door de mate waarin het materiaal van de ertsdump doorloopt naar het midden van de oven. Dit verschijnsel is sterk afhankelijk van de theoretische laagdikte en specifieke "erts" kenmerken als soort, zeefanalyse en bv. vochtigheid. De effecten van de laatste invloeden moeten soms weggecorrigeerd worden via een aanpassing van de laagdikte als aanpassingen via topprogramma's dan wel slagpantser-instellingen buiten de normale werkband (ervaringsband) dreigen te vallen. Een

andere invloed is bijvoorbeeld het aandeel "kleintje kooks". Dit materiaal heeft het 3-voudige volume per gewichtseenheid te opzichte van de andere ertsmaterialen. Sterke aanpassingen in kleintje kooks beïnvloeden het "dumpvolume" en daarmee het doorlopen van de stort naar het midden.

Een stevige "kleintje kooks" aanpassing betekent feitelijk een laagdiktecorrectie.

Hoe dan ook, de theoretische ertslaagdikte blijft binnen een redelijk smalle band constant onder voorwaarde dat in het hart van de oven een schone kookskolom wordt gecreëerd. Deze heeft als hoofddoel de transportweg te vormen voor het gas, dat vanaf de raceway via de actieve kookzone overwegend door deze kooksschoorsteen opstijgt en deels aftakt bij iedere laag kooks die wordt gepasseerd. Het gas gaat dus niet als propflow verticaal door de oven maar vanuit het midden, redelijk horizontaal naar buiten om vervolgens op basis van geringe Δp verschillen door de bovenliggende ertslagen op te stijgen onder gelijktijdige opwarming en reductie van de bestanddelen van deze lagen.

Hieruit wordt meteen duidelijk dat een kier ontstaan aan de wand een zeer gemakkelijke weg vormt om om de ertslagen heen te gaan. De warmteinhoud van het reductiegas wordt dan deels overgedragen aan het koelsysteem en de gewenste reductie vindt nauwelijks plaats. Wel veel CO aanwezig maar geen resultaat.

Bovenstaande redenering maakt twee dingen uitermate duidelijk

- a) het door de centrale kookskolom opstroomt productiegas moet sterk overwegend naar de kookslagen aftakken. De stromingsweerstand van de kooksschoorsteen in de bovenste lagen mag dus niet te gering zijn.
- b) voorkomen moet worden dat langs de wand ruimte ontstaat, waardoor de kookslagen om de ertslagen heen worden doorverbonden.

De ervaring leert dat a) en b) elkaar zeer sterk beïnvloeden.

Is de weerstand in het centrum te hoog dan wordt teveel gas door het uiterste wandbereik geperst. De proceshuid wordt instabiel en/of verdwijnt en het gas loopt door de ruimte tussen de koelplaatneuzen van kookslaag naar kookslaag en koelt te sterk af om chemisch iets te kunnen presteren. Als gevolg hiervan zakt de wortel van de smeltzone (op een zekere afstand uit de wand) naar een te laag niveau boven de vormen en het zakgedrag wordt instabiel, waardoor de situatie verergert.

Omgekeerd geeft te weinig weerstand in het centrum te weinig gas aan de wand. De wortel van de smeltzone zakt dan direct aan de wand te ver door en eindigt vlak boven de vormen. Dit resulteert met zekerheid in een hoog SRE verbruik en bij instabiel bedrijven van de hoogoven ook tot vormschade. Het vinden en behouden van het optimum tussen hartdoorgassing en wandafdichting is dus een voortdurende worsteling die zeer regelmatig wordt beïnvloed door wijzigingen in de möllerkwaliteit. Met name de fluctuaties in het aandeel te fijn en de concentratie daarvan, in de buurt van, maar niet voldoende aan de wand spelen hierbij samen met het reductievergruizingsniveau een belangrijke rol.

Een praktijk voorbeeld rond de laagdikte van HO 7.

In de nu (4^e kwartaal 2000) gangbare omstandigheden met een kooksverbruik van 305 kg/ton RIJ, totaal bestaande uit 265 kg grove en 40 kg kleine kooks, is de kooksdump 15,0 ton, dus 30 m³.

In een keeldiameter groot 10 m \varnothing op vulniveau resulteert dit in een theoretische kookslaagdikte van 38,2 cm. Gaan we ervan uit dat de "ring" in de kolenzak 2x dit keeloppervlak bedraagt, dan ligt hier de theoretische laagdikte op 19,1 cm. In het centrum (5% van het oppervlak) is alleen kooks aanwezig, dus tussen de ertslagen zit 95% van de kooks. Dit levert $0,95 \times 0,5 \times 38,2 = 18,1$ cm kookslaagdikte, althans berekend als schijfdikte. Het is zeer waarschijnlijk (zie lagenmodel R. Godijn) dat aan de wand 20 cm wordt gehaald en 1 m uit de wand de 12 cm laagdikte niet wordt overschreden. Alhoewel de praktijk bewijst dat een hoogoven in deze situatie goed kan worden bedreven, zal duidelijk zijn dat een sterke verstoring van het zakgedrag snel kan leiden tot mengselvorming, o.a. door afschuiving van de lagen onderling. Hierdoor ontstaat een niet te beheersen toename van de doorstromingsweerstand. Het "bijmaken" van een oven om de ongewenste drukopbouw en hakerig zakgedrag te onderdrukken zal daarom meestal een averechts effect opleveren. Afregelen naar een waarde waarbij normaal zakgedrag wordt hersteld en vanuit die situatie langzaam terug naar de oorspronkelijke bekende

situatie ligt meer in de lijn naar succes. Een kreupel paard met de zweep over de baan jagen zal nimmer een winnaar opleveren.

De manier om tot het gewenste doorgassingsprofiel te komen.

Voordat gegrepen wordt naar middelen die de bestaande situatie gaan veranderen, moet uiteraard eerst een analyse gemaakt worden van de bestaande situatie en deze moet worden gespiegeld aan de theoretisch gewenste situatie.

Ook moet men zich afvragen wat de mogelijke oorzaak van het afdwalen van het optimum kan zijn geweest. Dit lijkt een "open deur" maar helaas leert de ervaring dat open deuren nog veel te vaak ingetrapt worden op basis van gevoel zonder dat voldoende is beredeneerd hoe en waarom een situatie is ontstaan.

De bulkdoorgassing wordt principieel aangestuurd middels de laagopbouw en de hierdoor ontstane kookskern met vertakkingen. Als de oven zich niet naar wens gedraagt dan zullen de metingen van gasanalyse, koelverliezen, droogcapaciteit en toptemperatuur meestal aangeven dat het doorgassingspatroon zich al dan niet heeft gewijzigd. Heeft de wijziging waarneembaar plaatsgevonden en is hij te verklaren doordat de gevolgen met elkaar in overeenstemming zijn dan heeft het zin om middels slagpantsergebruik dan wel topprogramma verandering naar de oude, meer gewenste situatie terug te keren.

Als voorbeeld kennen we een te hoge (centrale) toptemperatuur gecombineerd met een doodvallende droogcapaciteit en zeer zwakke benutting in de centrale zone. Het afsmoren van de centrale gasstroom lijkt hier van toepassing opdat het te veel aan gas door het hart meer door de rest van de lading wordt gestuurd.

Als echter hoge temperaturen in het hart worden gemeten bij redelijke benutting en een goede droogcapaciteit, dan heeft het geen zin om de laagopbouw te veranderen, maar ligt het voor de hand de hoeveelheid schachtgas per ton RIJ aan te passen.

Moeilijker wordt het als de reductiekwaliteit van de grondstoffen onder verdenking staat. Meestal is dit alleen het geval bij onze sinter omdat dit product door de aard van het materiaal en de wijze waarop het gemaakt wordt nogal gevoelig is voor diverse vaak moeilijk te beheersen invloeden, oa. brieskwaliteit, menghoopopbouw en verwerking kop en staart, inzet van opslag etc. Als de sinter dus kwalitatief buiten de norm stelling valt en daardoor bv. te veel vergruist, kan ook dit eenvoudig leiden tot hoge drukopbouw, onrustig zakgedrag en stijgende koelverliezen. Hierop anticiperen door het hart verder open te sturen zal een ongewenst effect opleveren. Afregelen naar een werkbaar windvolume om de situatie te boven te komen zal een snelle terugkeer naar de oude gewenste situatie mogelijk maken.

Verandering van de laagjesopbouw zal bij verdwijnen van de bronoorzaak een nieuwe, vaak minder gewenste situatie opleveren die daarna weer moet worden hersteld. Dus eerst goed analyseren wat er aan de hand kan zijn en alleen bij een duidelijk beeld een ingreep plegen via de laagopbouw in de bovenoven.

Bij hoogoven 6 gebeurt dit vrijwel altijd door het laten fluctueren van het aantal kooksrondjes in het centrale bereik van de oven. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de topprogramma's 3 t/m 6 die in deze richting het kooksaandeel in het hart laten dalen. Een combinatie van bv. 4 en 5 of 5 en 6 is ook gebruikelijk. Topprogramma 4 geeft een dikke centrale kookskolom, gaande naar 6 wordt de centrale kookskolom steeds dunner.

De ertsprogramma's 7, en 8 + 9 variëren zelden, alleen als de sturing met de kooks via 3 t/m 6 wat eenzijdig ligt kan worden overwogen de ertsdump wat meer of minder door te sturen naar de centerlijn. Gestart kan worden via de gesplitste dump 8 + 9.

Bij de besturing van hoogoven 7 ligt de situatie wat gecompliceerder. Dat wat in het hart moet worden bereikt is altijd het resultaat van de sturing met het slagpantser in het wandbereik en de eventueel aan te leggen laagdikte.

Nu komen er hier een paar praktische beperkingen naar boven drijven.

- a) HO 7 kan alleen topproducties draaien op een 2 bakken schema van het type KK/MM/ repeterend. De reden is dat voor een goede afzeving van de grondstoffen mede de tijd gebruikt wordt waarin de andere soort wordt gereden.
- b) De hellende lift kan nauwelijks sneller dan de huidige speed 5 omdat dan de top niet tijdig gereed is.
- c) Een 2 bakken schema is het schema met het laagste aantal kleine klok openingen per eenheid van ruwijzerproductie.
- d) De inhoud van de skips en de inhoud van de kleine kloktrechter zijn bij 90 ton erts + kleine kooks vrijwel aan het praktisch maximum van 25 m³ per skip
In de huidige praktijk gaat het skip overlopen bij een möllergewicht van 360 ton verdeeld over 8 bakken, waarbij de eerste bak veelal voller is dan de tweede.



Het resultaat in de oven is een laagdikte van 60 à 62 cm berekend op 10 m Ø. Dit is soms ruim voldoende om zodanig door te lopen naar het hart dat dit wordt afgesmoord. Soms echter moet het erts bewust wat meer naar de centerlijn worden doorgestuurd. Een bijkomend probleem bij HO 7 is, dat de optredende fluidisatie bij hoge volumina in de bovenschicht bovenmatig toeneemt waardoor er in die gevallen extra erts naar het centrum moet worden gestuurd.

Dit was in het verleden zelden het geval. Toentertijd stonden de ertsdumps altijd op de positie – 6 zijnde maximaal naar buiten. Rond 1996 – 1997 werden we gedwongen één of meerdere ertsdumps binnen de kooksdumps te brengen. Vorig jaar, dwz. 1999, is besloten deze situatie permanent aan te leggen omdat deze verspringing een betere verdeling van het ultrafijn (niet afgezeefd retour) geeft en omdat er ook adequater gereageerd kan worden op de veelvuldig optredende enorme gasdebiet veranderingen met als gevolg daarvan een sterke tot volledig onderdrukte fluidisatie van de kooks in het hart van de oven.



**Corus Strip Products IJmuiden
Manufacturing Hoogovens**

Het Hoogovenproces

Hoofdstuk : 07 bijlagen

Revisienummer : 01

Datum uitgifte : 12-2001

Bladzijde : 12 van 7



Bijlage 2

Het slagpantser van HO 7: consequentie voor de procesvoering

De historie

Hoogoven 7 is vanaf zijn begin, november 1972, uitgevoerd geweest met het huidige verstelbare slagpantser, fabrikaat GHH.

Helaas waren de dimensies wat merkwaardig geextrapoleerd, daarbij uitgaande van de slagpantser systemen van HO 4, 5 en 6.

In de besturing was oorspronkelijk slechts plaats voor zes posities en daarmee voor slechts vijf verstellingen. Vijf verstellingen die ook 300 mm groot waren, berekend op de onderkant van de slaglijsten.

Na beschikbaar komen van een multipositie liniaal zijn de slagpantserverstellingen naar eenheden van 50 mm gebracht. Hierna zijn ook de andere ovens op 50 mm stapgrootte gezet.

Als de slaglijsten verticaal hangen, is de diameter van de binnenkant van de buitenste lijsten globaal \varnothing 8,5 m. Dit is de grote klok diameter + 1 meter aan iedere kant, stand genoemd 0.

De onderkant van de slaglijsten kan 300 mm naar buiten worden getrokken \varnothing 9,1 m. (dit is niet de diameter van de inslagpunten in de oven, deze is variabel en afhankelijk van diverse componenten).

De positie wordt -6 genoemd, zijnde 6 x 50 mm naar buiten tov. de verticale positie. Verder kan het slagpantser nog naar binnen worden bewogen tot totaal 18 stappen van 50 mm. Hiervan zijn er 8 geprogrammeerd en wel +1 t/m +8 en wordt de positie +9 gebruikt om het slagpantser in de meest naar binnen gelegen positie te brengen, zie bijgaande tekening.

Sinds de introductie van de centraal gaande processturing van HO 7 (anno 1989), is het niet meer noodzakelijk gebleken, het slagpantser verder naar binnen te sturen dan de +2 positie, zijnde \varnothing 8,3 m op de onderkant van de platen.

Opgemerkt dient te worden dat met het centraalgaand proces de erts-laagdikte vrijwel constant is gehouden en mede daardoor ook het vulschema dat vanaf die tijd ongewijzigd KK_a/EE_b/repetierend is geweest, waarbij a vrij gekozen werd tussen -3 en +2 en b vrijwel altijd op de -6 positie werd gehouden.

Als de gewenste doorgassing niet was te bereiken binnen deze beperkingen werd meestal een laagdikte wijziging toegepast.

Dit is jarenlang goed gegaan totdat eind 1997 bleek dat de kookposities zowel als de ertsposties alle op -6 stonden en er bij maximale laagdikte toch een relatief te grote centrale kookskolom ontstond.

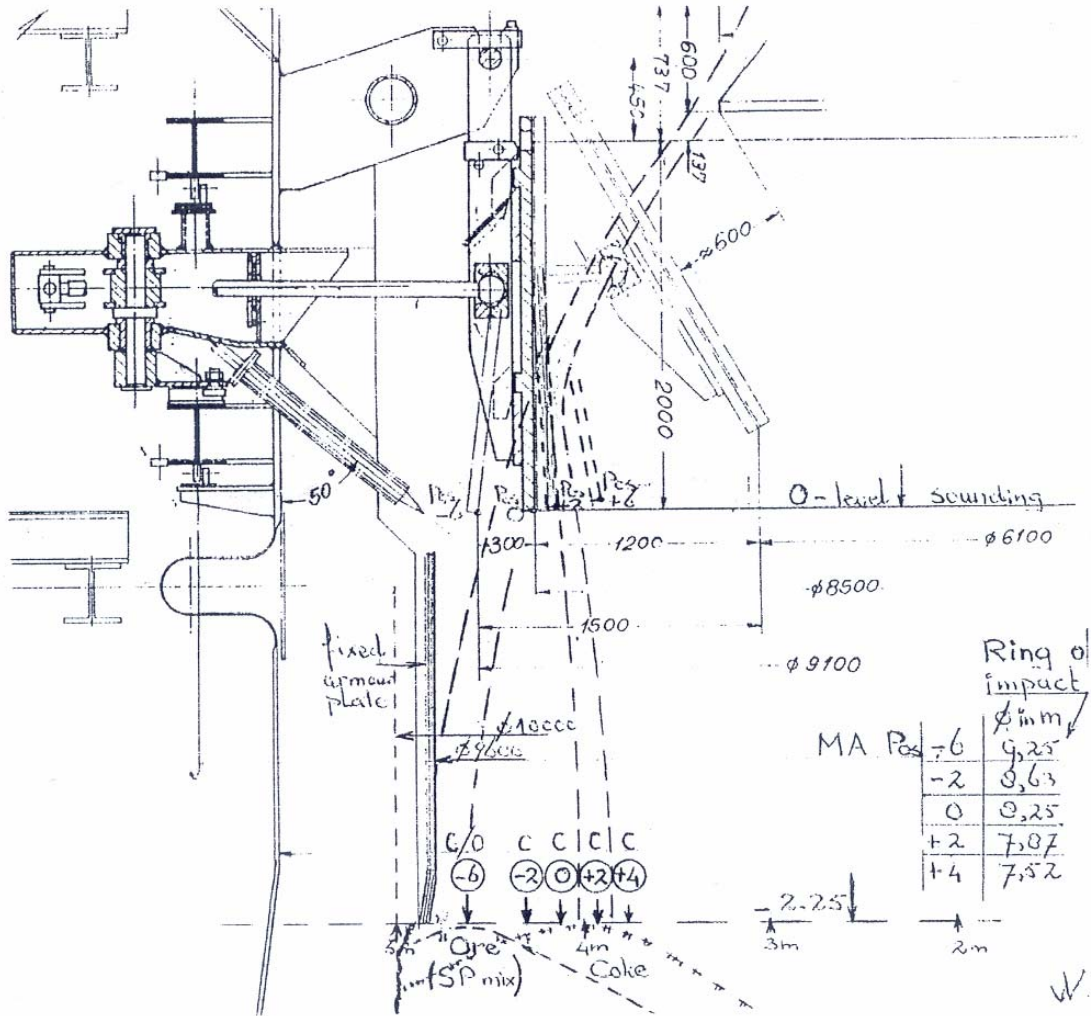
Dit was grotendeels het gevolg van het toepassen van flinke hoeveelheden kleintje kooks (tot 60 kg/try droog) waarbij de gevraagde gewichten de volumina te groot werden en de bakken overliepen, anderzijds ook het gevolg van het steeds kleiner worden van het aandeel sinter >25 mm. Deze fractie nl rolt voor een groot deel af naar het centrum van de oven.

Besloten werd het proceshart bewust dicht te drukken door een van de ertsdumps binnen de kooks te trekken (positie +1).

Na verloop van tijd is deze manier van werken weer los gelaten en werkte men weer met de vanouds bekende methodiek, totdat redelijk recent, september 2000, de gesplitste ertsdump weer is ingevoerd. De hoofdreden van de herinvoering lag weer in een af en toe te groot centraal kookkanaal maar tevens had ik me bedacht dat het beter spreiden van fijn wel eens een voordeel kon zijn.

Slagpantser systemen in combinatie met een grote klok hebben de eigenschap het fijn geconcentreerd aan de binnenzijde van de valbaan neer te leggen en daar een ring te creëren met een bijzonder slechte doorlaatbaarheid. Het "opsplitsen" van het fijnaandeel zou wel eens positief kunnen werken op de doorgassing in het wandbereik. Dit is ook inderdaad het geval, voornamelijk in de vorm van verlaging en stabilisering van de koelverliezen, die zeker de laatste maanden aantrekkelijk laag zijn, mede als gevolg van een wat grote kookovermaat in het wandbereik. Deze situatie is echter goed te optimaliseren als je het "goede geloof" hebt en de overtuiging bezit.

Duidelijk is dat met een sturing waarbij één of meer ertsdumps binnen de kooks worden gelegd, een enorme flexibiliteit ontstaat. Aan de hand van meetresultaten zal snel duidelijk worden waar de begrenzingen liggen. Bedenk dat een lage benutting beter is dan hoge koelverliezen.



De beladingsfilosofie van en voor een hoogoven uitgevoerd met een verstelbaar slagpantser.

- 1^{ste} De bedoeling van de besturing is een werkpunt te vinden waarbij gegeven de gevraagde productie, de doorgassing zodanig wordt beïnvloed dat de koelverliezen laag blijven bij een aanvaardbaar niveau van de totale gasbenutting.
Een lage benutting zal ongetwijfeld een te hoog (optisch) SRE opleveren echter bedenk dat deze situatie vrijwel alleen extra KI en O₂ vraagt waarbij een omvangrijk deel van de kosten wordt teruggewonnen via verkoop van het geproduceerde gas.
Koelverliezen daarentegen kosten dubbel geld. Eerst vanwege het totale energieverlies en vervolgens via een ongewenste toename van de “wandslijtage” die op de lange duur veel kosten kan opleveren.
Ergo, laat bij een situatie waarbij gekozen moet worden tussen bovengenoemde situaties, altijd de laag koelverlies situatie prevaleren.
- 2^e De koelverliezen kunnen alleen goed gestuurd worden bij voldoende groot kooksaandeel in het wandbereik. De ervaring leert dat dit globaal tussen de 40 – 60 en de 50 – 50% situatie ligt met gemiddeld een iets groter volumeaandeel aan erts tov. kooks.
Te hoge koelverliezen kunnen niet alleen ontstaan door te weinig erts aan de wand maar evenzo makkelijk door te veel erts aan de wand. Het grote verschil is dat de laatste situatie eindigt in onrustig zakgedrag en fluctuerende resultaten met weinig “droog” capaciteit (rest warmte energie in topgas) terwijl de eerste, laag erts aandeel, situatie een goede droogcapaciteit laat zien echter met een zwakke benutting in de wandzone.
De situatie is wel veel stabiel en daarmee veel makkelijker te repareren.
Bedenk dat ongewenste koelverliesniveau's nooit simpel kunnen worden voorkomen door verhoging van het ertsandaal aan de wand. Het resultaat is altijd een optimaal samenspel van hartdoorgassing – wanddoorgassing, laagdikte en K / E verhouding in het wandbereik.
- 3^e De doorgassing in het centrum, dwz. de instandhouding van de afmeting van de centrale kookskolom, kan worden gestuurd met zowel de slagpantserstanden tijdens de kooksdumps als door instellingsverandering van de ertsdumps.
Het lijkt een open deur, maar steeds moet bedacht worden dat de som van kooks- en ertsandaal aan de wand 100% is. Dit betekent in de praktijk dat de ruimte ingenomen door de ene soort, wordt onttrokken aan de andere soort. Dit kan bij grote verstellingen aan het slagpantser, zeer snel tot enorme veranderingen in kooks / ertsverhoudingen leiden.
Als alle erts tegen de wand wordt gedumpt en de oven zou een strak afhellende taludhoek vertonen, dan zal de invloed van de kooksdump kwadratisch toenemen met de afstand van de wand tot de top van de kookslaag. Dit geldt uiteraard ook voor de ertsdump.
De hoeveelheid kooks (zijnde niet erts) aan de wand wordt zeer rap groter als de ertsdump een aflopend talud naar de wand krijgt.
Bovenaande redenering impliceert dat het optimale werkgebied slechts een beperkte verstelling van het slagpantser toelaat.
Als binnen deze begrenzingen voor de verdeling aan de wand niet het optimale resultaat voor de hartsturing wordt gevonden, dan zal vervolgens de laagdikte moeten worden aangepast.
Hiervoor geldt een eenvoudige stelregel. Hoe dikker de laag, hoe meer erts naar het centrum. Hoe dunner de laag, hoe groter het kookshart in het centrum van de oven.
Bij sterk fluctuaties in het ertsandaal in het centrum, zal van beide bovengenoemde stuurmethodieken gebruik moeten worden gemaakt.
Dit is speciaal bij een klokgestuurde beladingsverdeling vaak nodig omdat de K / E verdeling in het hart niet dwingend aangebracht kan worden, maar het gevolg is van afrollen en afschuiven van grof materiaal. Hierdoor is in het centrum veelal zeer grove kooks aanwezig, waarbij de “dragforces” van het zeer snel opstijgende gas boven een gegeven gasdebiet fluidisatie bewerkstelligen waardoor extra “hartdoorlaatbaarheid” ontstaat.
Als rond dit fluidisatie volume, wind en zuurstof aanpassingen plaatsvinden, zal daar zeer frequent op moeten worden gereageerd met verstelling van de slagpantserposities.

Dit betekent in het geval van onze HO 7 dat iedere productieniveau-verandering zijn eigen slagpantserverandering met zich meebrengt en dit zeker in de gevallen dat naar de flexsituaties wordt gegaan en omgekeerd.

Dat dit veelal zonder al te veel problemen lukt komt dankzij het uitgebreide (gas-) meetinstrumentarium waardoor snel en duidelijk de verandering wordt waargenomen en de reactie binnen de kritische tijd kan plaatsvinden.

Terugkomend op het gestelde in punt 3 nl de kwadratische invloed van de grootte van de stortpuntverplaatsing als gevolg van de slagantser positieverstelling, kan worden gesteld dat deze invloed sterk kan worden onderdrukt als de ertsdumps ten dele van de wand af worden gehaald. In dit geval zal het somresultaat van een seriedumps een plateau met een langzaam veranderend K/E verhouding laten zien in plaats van het kwadratisch effect van de veranderende driehoek. Dit is o.a. de reden waarom we tegenwoordig, dwz. vanaf 1997 op bovenstaande wijze sturen. Hierbij staan twee of drie van de vier ertsdumps maximaal naar de wand en de andere vanaf de wand tot maximaal verticaal (positie 0). Dit geeft in de praktijk een inslagring met een binnendiameter van 9,25 m ingeval van -6 en bij positie 0 een binnendiameter van globaal 8,25m. De kooks wordt daar tussen gestort. De precieze standen (-1 t / m -5) zijn van minder grote betekenis omdat kooks bij storten in de oven een groot spreidingsgebied heeft. Het zal het plateau vullen en onder zijn eigen storthoek eindigen nadat het over de ertskam is gelopen. Hierbij zal de fijnere kooks overwegend in het wandbereik blijven en de halve straal niet passeren. Het grof eindigt in het centrum van de oven.

De invloed van de ladinghoogte op de lagenopbouw in de oven.

De laagopbouw in de oven is grotendeels het gevolg van de "natuurlijke" storthoeken van de diverse materialen, maar onmiskenbaar ook sterk het gevolg van de hoek en de snelheid waarmee de valbaan het "stortpunt" raakt.

Als we de gedragingen van de bovenlaag van de opbouwende totale laagdikte bekijken dan zien we vaak dat de zich vormende laag een storthoek aanneemt die groter is dan zijn eigen glijhoek, om vervolgens af te schuiven naar een vlakke hoek en zich daarna weer een steile hoek aanneemt. Dit soort lawineeffecten is ook materiaalafhankelijk en het grootst bij grof materiaal als bv kooks en ook sterk bij materialen met een grote interne wrijving bv een slecht afgezeefd vochtig stukerts. Het zal duidelijk zijn dat de omvang van dit soort lawineachtig doorschuiven mede wordt beïnvloed door de impuls van de valbaan en de richting van de valparabool.

Bij niet door het slagantser gereflecteerd materiaal zal de valbaan licht naar buiten gericht zijn en de impuls tegengesteld aan de afglijrichting. De valbaan staat min of meer loodrecht op het talud en de impuls zal in botsing verloren gaan.

Wordt het materiaal in de valbaan van richting omgekeerd dan werkt een deel van de impuls versterkend op het afglijden en doorzetten naar het midden van de oven. Materiaal dat op verticale of + standen van het slagantser in de oven wordt getrokken krijgt dus een zetje mee. Vooral grove kooks profiteert hiervan en sterker naarmate de impuls energie groter wordt.

Nu wordt de snelheid van neerkomen overwegend bepaald door de totale valhoogte globaal gerekend vanaf de bovenzijde grote klok t/m het inslagpunt aan de wand in de oven.

Nemen we voor de "valhoogte" op de grote klok tot aan de slagantserplaten onderzijde 4 m (2 x 2m), dan valt het materiaal globaal nog 2 m dieper in de oven.

Laten we ovenpeil zakken van 2,3 naar 2,8 m ladingniveau dan komt hier nog een halve meter bij. Dit is dan een 0,5 m op een totaal van 6 à 6,5 m. De valenergie (G x H) wordt hiermee 8% groter en het materiaal, dat naar binnengericht wordt gestort zal meer doorzetten naar het centrum.

Het effect is echter beperkt bij afwezigheid van grof materiaal. De ervaring heeft bovendien geleerd dat de resultaten niet erg reproduceerbaar zijn. Om deze reden hebben we de valhoogte vast en redelijk hoog te kiezen, zoveel mogelijk binnen de onderkant van het vaste slaghemd.

Het niet reproduceerbaar zijn van de valhoogte-invloeden is een gevolg van het vaste slaghemd. de sprong in diameter tussen onderzijde slaghemd en vuurvaste wand is veel te groot en ligt qua hoogte erg ongelukkig tov. het normale peil.

Er is een tweede mogelijk veel zwaarder doortellende invloed van de valhoogte op de laagopbouw en wel het storten van de lagen geheel binnen, globaal half om half en geheel onder het vaste slaghemd. Dit vaste slaghemd is nl. niet zo optimaal in de keel van de oven opgehangen.

De platen hangen voor een optimale situatie te veel uit de wand en dus op een te kleine diameter.

Weliswaar is de wandlijn met stenen relatief sluitend aangeheeld, maar de slag- en slijtkrachten van het vallende materiaal slijpen de platen geheel door en eroderen de wandstenen onder de platen weg waardoor er een stapsgewijze diameter verstelling ontstaat, die na de slaghemd wisseling is blijven bestaan.

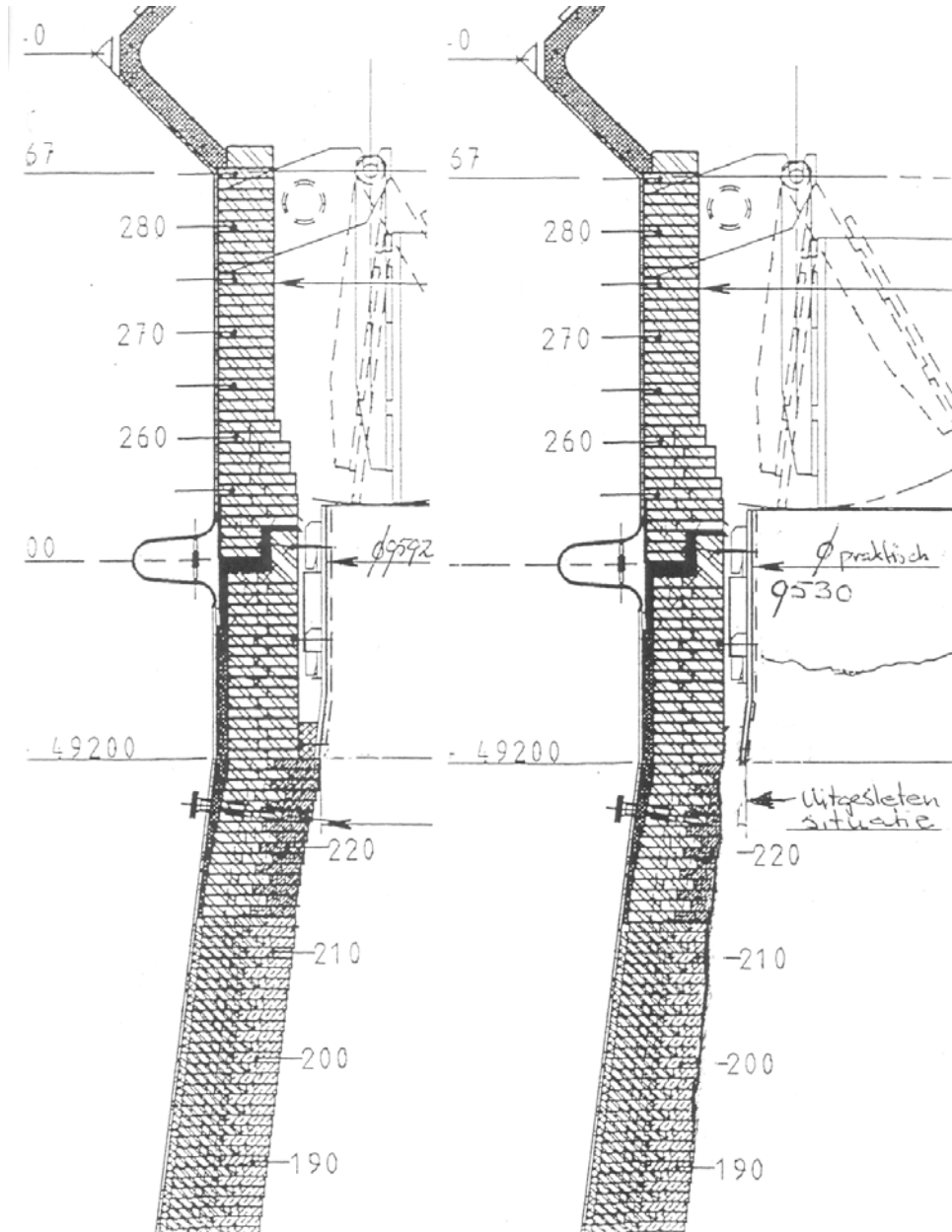
De wand van de oven bevindt zich daardoor zo'n 12 tot 18 cm. achter de voorkant van de platen.

Laagopbouw ruim binnen de platen vindt plaats over een diameter van $\varnothing 9600$, die onder de platen op een diameter van $\varnothing 9900$. De oppervlakteverhouding is hierbij dus $(9,9 / 9,6)^2 = 1,064$.

De laagdikte wordt, onder de platen geladen, dus ook maar 94% van die tussen de platen (in de cilinder). Dit is een laagdikteovergang die in de normale besturing in drie stappen zou worden uitgevoerd. Een zeer aanzienlijke verandering dus.

Een bijkomend extra nadelig effect is dat bij scheefliggen van de lading rond het sprongpunt twee laagopbouw situaties ontstaan, een die behoort bij $\varnothing 9,6$ m en een die behoort bij een $\varnothing 9,9$ m.

Overwogen moet worden of bij een a-symmetrisch werkende oven het niet de voorkeur verdient de valhoogte op te trekken tot 2,0 m (ipv. 2,3 m). Ook kan met dit middel een meer of minder grote harddoorgassing worden ingesteld, bv. rond afregelsituaties en stilstanden.





**Corus Strip Products IJmuiden
Manufacturing Hoogovens**

Het Hoogovenproces

Hoofdstuk : 07 bijlagen
Revisienummer : 01
Datum uitgifte : 12-2001
Bladzijde : 18 van 7

Bijlage 3

Beschouwing over de slakvorming bij laag slakvolume en rond bijzondere productiesituaties.

Inleiding

Al onze normale inzetstoffen als pellets en sinter en het Sishen erts zijn zodanig arm in SiO_2 dat bijregelen van de slaksamenstelling vrijwel niet meer op korte termijn mogelijk is. Dit leidt er toe dat bij moeilijk te voorziene perioden met een hoog Si in het ruwijzer automatisch een hoge slakbasiciteit ontstaat. Deze slak is veelal niet zonder extra problemen op de granulatieput te krijgen. Dit probleem speelde het sterkst bij HO 4 waar de omstandigheden met weinig slak en een relatief lang rennenstelsel het ongunstigst zijn. Dit wordt nog versterkt doordat de slaksamenstelling met relatief veel MgO (> 12%) snel aanleiding geeft tot het dichtsmere en vollopen van het rennenstelsel. Speciaal onder omstandigheden rond stilstandsituaties is dit daar een nauwelijks te voorkomen probleem.

Er wordt voorgesteld voor deze "te voorziene" situaties een tijdelijke zure slaksamenstelling te kiezen bijvoorbeeld als volgt. "De basiciteit na de stilstand is gedurende X-vullingen 90% standaardbasiciteit, waarbij X met name samenhangt met de extra te rijden kooksbakken", bv 2x het aantal (cq de periode van) extra kooksbakken.

Voor speciale omstandigheden waarbij het Si in ruwijzer torenhoog kan worden, wordt voorgesteld een hoog SiO_2 -houdend erts aan te schaffen opdat de gewenste hoeveelheid SiO_2 tbv de Si-reductie in ruime mate in de möller en de slak aanwezig is.

Huidige situatie

Een goede slakvoering is uitermate belangrijk voor het verkrijgen van de gewenste ijzerkwaliteit, als ook voor het afvloeien van de slak naar de granulatieputten en de daarmee samenhangende werkzaamheden in en rond het ovenhuis. Heden wordt uit hoofde van het kostenaspect gestreefd naar een relatief laag slakvolume per ton geproduceerd ruwijzer. Dit streven heeft echter gevolgen voor de regelmaat in de slakvoering met name voor de grootte van de schommelingen in het resterend SiO_2 -gehalte van de eindslak.

we met een spreiding in het Si-gehalte van het geproduceerde ruwijzer van $\pm 0,2\%$ ten opzichte van de richtwaarde dan zal als gevolg hiervan de gemiddeld juist ingestelde basiciteit van 1,50 (CaO+MgO) gaan zwaaien tussen de 1,42 en 1,58.

SiO_2

Bij "snelle" Si-schommelingen zal dit door de demping in de oven meestal beperkt blijven tot ongeveer de halve waarde. Dan nog schommelt de waarde tussen de 1,46 en 1,54 voor HO 6 en HO 7.

Uiteraard wordt deze spreiding nog vergroot omdat ten gevolge van de fluctuaties in de grondstoffen de waarde 1,50 bepaald niet constant is. Zo levert bijvoorbeeld 0,6% verschuiving in asgehalte van de kooks een sprong in SiO_2 van $\pm 1,1$ kg resulterend in een Δ basiciteit van 2 punten.

Een evengroot verschil in basiciteit ontstaat door een verloop in kalkoverschot met 0,2%. Soms heffen de afwijkingen elkaar ten dele op. Veelal echter versterken ze elkaar waardoor de basiciteit aanzienlijk van de gewenste instelwaarde kan wegdrijven. Hierbij is de invloed van de bemonstering nog buiten beschouwing gelaten. De analysenauwkeurigheid van Lab-west is gelukkig buitengewoon goed. De invloed hiervan op de basiciteit kan vrijwel worden verwaarloosd. Echter waarden tussen de 1,42 en 1,58 bij 1,50 als richtwaarde moeten als "normaal voorkomend" worden beschouwd.

Speciale situaties

Rond een stilstand wordt extra kooks gereden ter compensatie van voornamelijk warmteverliezen in de wandzone en verlies van PCI rond het stilgaan. Dit geeft in principe een verhoging van het SiO_2 en Al_2O_3 -gehalte van de slak. Echter, de veelal optredende stijging in Si van het ruwijzer onttrekt zoveel SiO_2 aan de slak dat er als resultaat een hoog basische, hoog Al_2O_3 -houdende slak ontstaat die bij relatief sterk verlaagde ruwijzertemperaturen door een koud rennenstelsel moet worden afgevoerd. Dit zijn met elkaar strijdige voorwaarden. Het is wenselijk de slak die direct na de stilstand moet worden getapt, betere vloeieigenschappen mee te geven. Dit betekent simpel het opvoeren van het SiO_2 -gehalte bijvoorbeeld tot een theoretisch niveau waarbij de basiciteit op 0,9 x de standaard basiciteit wordt geprikt.

Situaties onder extreme omstandigheden en tijdens "in bedrijf" stellen.

De basiciteitswaarden gaan onvoorspelbaar worden als er situaties voorkomen waarbij het Si in ruwijzer nauwelijks is in te schatten. Dit is vaak het geval bij specifieke aanblaasomstandigheden en na een lange stilstand. Is de periode relatief kort, zo'n 2 á 3 dagen dan beperkt de sprong in Si zich meestal tot 1,2 á 1,5%. Bij aanblaasomstandigheden echter wordt tussen de 70 en 105% möller heel vlot de waarde van 2,5% Si en meer bereikt. Het zal duidelijk zijn dat aan deze vraag naar extra Si niet kan worden voldaan zonder sterke gevolgen voor de basiciteit van de slak. Immers op een "normaal" slaknivo van 250 kg/ton ruwijzer veroorzaakt een Δ Si van 0.5% (dat wil zeggen 0,92 in plaats van 0,42%) een stijging van de basiciteit met 23 punten (van 1,50 \rightarrow 1,73). Wat dit betekent voor de slakgedragingen laat zich moeilijk inschatten omdat dat ook sterk afhankelijk is van externe omstandigheden en de specifieke verhoudingen tussen de hoofdcomponenten. De speelruimte voor het "vloeibaar" verwerken wordt echter snel nul. Duidelijk is wel dat voor een te verwachten en in het verleden steeds waargenomen sprong in Si tot 2% boven de normale waarde speciale maatregelen moeten worden genomen.

Het gebruikelijke opvoeren van het slakvolume naar de dubbele waarde met omloopslak heeft als voordeel dat de extra behoefte aan Si in ruwijzer kan worden gedekt uit de nu tweevoudig aanwezige hoeveelheid SiO_2 . Dan nog zal de basiciteit bij een "misrekening" van 1% Si in ruwijzer met 23 punten wegelopen van de berekende waarde. Helaas is dit altijd naar hoog Si en dus hoge basiciteitswaarden. We zitten vervolgens met de dubbele hoeveelheid slechthandelbare slak.

Als bijkomend punt kan nog worden gemeld dat omloopslak gezien de zeefanalyse van dat materiaal de neiging heeft zich aan de wand dan wel in het hart te concentreren. Een en ander is ook met metingen aangetoond.

De hierna beschreven methode lijkt voor de gemelde problematiek een veel betere oplossing.

Praktische mogelijkheden.

Ga er vanuit dat het Si in het ruwijzer verloopt zoals tijdens de laatste paar keren onder soortgelijke omstandigheden gemeten is.

Zie de slak als een beschermvloeistof voor delen van de installatie, zodanig dat zijn omhullende werking op ijzer en installatiewand een overmatige warmte-overdracht moet voorkomen. Dit impliceert dat de slak onder de gegeven omstandigheden goed vloeibaar moet kunnen zijn maar ook dat warmte-overdracht van de slak of via de slak naar de bodem en haardwand zeer beperkt is. Geef het slakvolume voldoende SiO_2 mee om na aftrek van de grote hoeveelheden Si opgelost in het ruwijzer toch nog voldoende SiO_2 over te houden voor een gunstig laag smelttraject (het temperatuurbereik tussen solidusvlak (figuur 2) en liquiduspunt (figuur 1) van de theoretische eindslak).

Zie af van de theoretisch gewenste ontzwavelingscapaciteit voor het allereerst geproduceerde ijzer. Het eerste ijzer is veelal te koud om in de staalfabriek te worden ingezet. Zo gauw de ijzertemperatuur opkomt, schiet meestal het Si en daarna de temperatuur ook hoog door. Met onze externe ontzwavelingscapaciteit kan warm ijzer altijd van zijn te hoge zwavel worden ontdaan.

Zorg ook onder koude omstandigheden voor een slak met goede vloeibaarheids- eigenschappen. Alleen dit kan blokkade van het ovenhuis voorkomen en daarmee een redelijk ongestoord aanblazen borgen.

De hiervoor in aanmerking komende slak is een slak met relatief lage basiciteit. Er moet worden bedacht dat onder aanblaasomstandigheden veel kooksas en daarmee veel Al_2O_3 aanwezig is. Het in aanmerking komende slak-fasensysteem is dat met een Al_2O_3 -niveau van 20%. De fasendiagrammen laten het volgende zien (figuur 1 en 2).

Uitgaande van onze "standaardslak" wordt de liquidustemperatuur gaandeweg lager totdat bij een CaO/SiO_2 -verhouding 0,5 een minimum wordt bereikt tussen de 1.200 en 1.280°C met een solidusvlak rond 1.135 á 1.200°C. Zover behoeven we zeker niet te gaan maar het kan uit hoofde van de vloeibaarheid geen kwaad. Het geeft aan dat er naar de zure kant eigenlijk geen beperking is in de slaksamenstelling uiteraard afgezien van het zwavelgehalte in het ruwijzer. Kiest men uit hoofde van het zwavelgehalte toch voor een relatief hoge basiciteit dan moet men bedenken dat een hoog basische doch nauwelijks vloeibare slak ook niet zal kunnen ontzwellen omdat de "kontaktvoorwaarde" ontbreekt.

Praktische uitvoering.

Hoe wordt een specifieke zure slaksamenstelling bereikt?

In principe gewoon door toevoeging van alleen SiO_2 aan de möller. Al_2O_3 komt in het algemeen in voldoende mate met de kookas mee en is niet aan schommelingen door reductie onderhevig.

Bovendien kan het Al_2O_3 -werkgebied relatief breed zijn. Toevoegen van voldoende SiO_2 aan de möller vereist echter specifieke maatregelen.

Er zijn 3 bekende bekende methodieken:

- gewoon grind toevoegen aan de möller;
- fijn grind meesinteren in de Sifa zodat een sinter met een hoog SiO_2 -aandeel ontstaat;
- een hoog SiO_2 -bevattend erts toepassen.

Ad a. Grind bevat 93 á 94% SiO_2 en 3% Al_2O_3 naast alkaliën en wat CaO en MgO. Het is een uiterst moeilijk smeltbaar produkt ($T_i > 1.600^\circ\text{C}$) en het zal in de hoogoven slechts met behulp van FeO vloeibaar kunnen worden. Voor de eindslak is het bruikbaar. Het nut van grind voor de rustslaksamenstelling is echter erg twijfelachtig, zeker als van grof grind gebruik wordt gemaakt. Hierbij komt nog het feit dat dit soort toeslagen moeilijk met de rest van de möller gelijkmatig kunnen worden verdeeld.

Ad b. Fijn grind meesinteren tot een sinter met een hoog SiO_2 -gehalte ondervangt een groot deel van bovengenoemde nadelen. Het grind is per definitie fijn, is opgenomen in het basis materiaal en daarmee goed verdeeld in de hoogoven. Het vereist echter het aanmaken en op voorraad houden van een specifiek materiaal dat ongetwijfeld gevoelig is voor verwerking. Het systeem is al eens bij BSC toegepast met name door Scunthorpe (Hanniker).

Ad c. Een hoog SiO_2 -bevattend erts toepassen. Een van de hiervoor in aanmerking komende ertsen is Tazadit Silicious. Dit erts bevat ongeveer 30% SiO_2 . Het zal daarmee sterk van invloed zijn op het SiO_2 -aandeel in de uiteindelijke slak. Het erts is door RL YZE (Rengersen) onderzocht op reduceerbaarheid en kwam daarbij redelijk goed uit de vergelijking te voorschijn. Met een dergelijk type erts zijn in de praktijk alle gewenste verhoudingen te bereiken. Het kan zonder kwaliteitsverlies worden opgeslagen. Gezien de benodigde hoeveelheden en de omstandigheden waaronder het zal worden gebruikt is afzeven niet noodzakelijk. Snelle inzetbaarheid is eigenlijk de enige voorwaarde. Het erts werd overigens bij Teesside als "trimerts" gebruikt.

Voorbeeld rekensommen met beschouwing

Slakvoering Hoogovens algemeen
Slaksamenstelling van de standaardslak

	%	Kg	Bas (th)
CaO	37,2	92	CaO + MgO/SiO ₂ = 1,516
MgO	11,3	28	
SiO ₂	32,0	79	CaO/SiO ₂ = 1,18
Al ₂ O ₃ TiO ₂	17,8	44	
	98,3	243	

In het ruwijzer zit 0,42% Si, dit komt uit 9,0 kg SiO_2 .

Het somtotaal komt hiermee op 9,0 + 79,0 = 88 kg SiO_2 .

Bij om welke reden dan ook uit de hand lopen van het Si tot bijvoorbeeld 1,5% zal van deze totaal 88 kg, 32 kg in het ijzer oplossen als Si. Er blijft voor de slak dan slechts 88 - 32 = 56 kg over in plaats van de gemiddelde aanwezige 79 kg.

De basiciteit van de eindslak wordt hierdoor $\text{CaO} + \text{MgO}/\text{SiO}_2 = 120/56 = 2,14$ in plaats van de gewenste 1,50. Het liquiduspunt van deze eindslak met overigens in dit geval $(44/220) = 20,0\%$ Al_2O_3 ligt dan op 1.525°C , waardoor deze eindslak niet of nauwelijks door het gotenstelsel is te persen. (Overigens heeft deze slak zijn hoge liquidustemperatuur ook te wijten aan het te hoog MgO-gehalte wat oploopt tot 12,7%. Bij 11% MgO zou de liquidustemperatuur dan $\pm 1.460^\circ\text{C}$ zijn.)

De eenzijdig weglopende basiciteit en liquidustemperatuurverhoging bij hoge Si-waarden zou voor situaties waarin dit is te verwachten kunnen worden gecompenseerd. Bijvoorbeeld, we zouden het slakvolume kunnen verdubbelen met behulp van omloopslak. Per ton ontstaan dan de volgende gewichten en samenstellingen.

		Kg	%	Bas (th)
CaO	92 + 92 →	184	39,0	CaO + MgO/SiO ₂ = 1,78 CaO/SiO ₂ = 1,36 TI = 1418
MgO	28 + 28 →	56	11,9	
SiO ₂	56 + 79 →	135	28,6	
Al ₂ O ₃ TiO ₂	44 + 44 →	88	19,5	
		463	98,0	

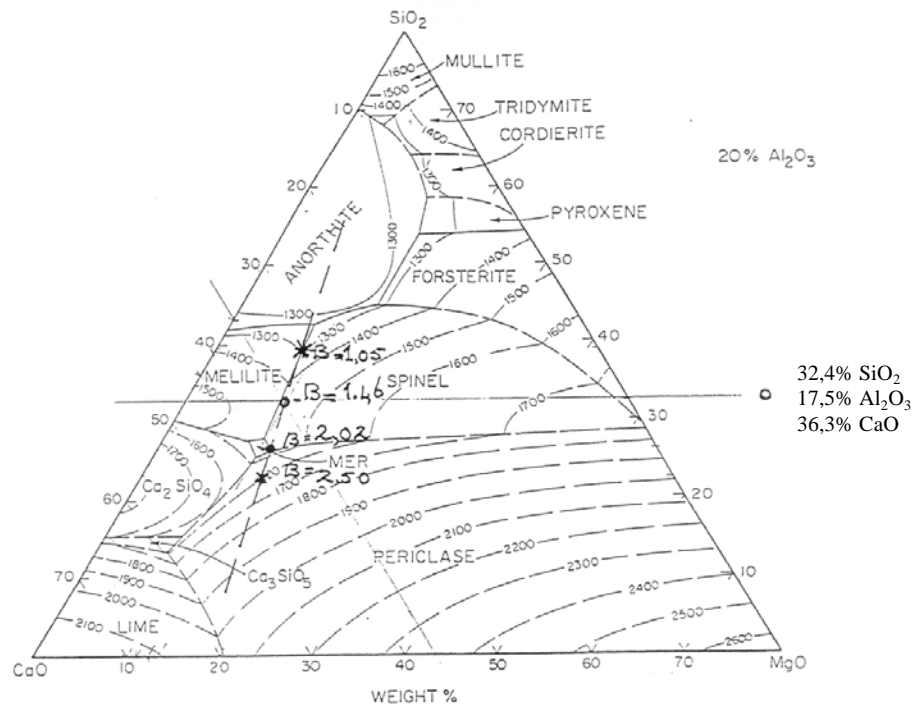
Het brutoslakgewicht is in dit geval 472 kg.

Een andere mogelijkheid is het inzetten van een hoog SiO₂-houdend erts zoals Tazadit Silicious Ore met ± 30% SiO₂.

De berekenbare sprong in SiO₂ kan met dit erts volledig worden opgevangen door een deel van de in te zetten zure möller bestanddelen, in ons geval voornamelijk pellets, door dit Tazadit SiO₂ te vervangen.

Een bijkomend voordeel is dat ook het MgO-gehalte naar beneden gaat omdat althans een deel van de MgO-bijdrage uit de pellets wordt weggenomen en verdunnen ontstaat door de SiO₂-toename. In situaties waarbij er bewust naar een hoge warmte-inhoud van de oven en daarmee van het ruwijzer wordt gestreefd, is de kooksinzet hoog en daarmee de kooksasbijdrage in de slakvorming. Daar kooksas ruwweg een SiO₂ - Al₂O₃-verhouding van 5:3 heeft zal als gevolg hiervan ook een hoog Al₂O₃-gehalte in de eindslak ontstaan. De ervaring leert dat Al₂O₃ op kan lopen tot 22 á 23%. Gaan we er vanuit dat voor situaties met een voorspelbaar hoog Si-gehalte in ruwijzer (bijvoorbeeld t/m 2,5%) de behoefte aan Si kan worden gedekt met een hoog SiO₂-erts en dat bovendien bij de hoge ijzertemperatuur de basiciteit mag zakken tot 1,35 dan ontstaan "slaktechnologisch" veel prettigere omstandigheden. De relatief zure slak heeft goede vloeieigenschappen (Al₂O₃ niet te hoog) en een relatief lage liquidustemperatuur. De ontzwaveling zal gezien de snel bereikte hoge ruwijzertemperatuur best redelijk zijn. Naontzwaveling is zeer wel mogelijk. Het voorbeeld is weergegeven in omgewerkte aanloopmöllers.

Liquidustemperaturen (fig 1)



Bij onttrekken van SiO₂ tot de grens van Merwinite - Spinel - Periclaas loopt de basiciteit op tot 2,02 en de liquidustemperatuur tot ongeveer 1470 à 1475°C. Het solidusvlak is 1380 tot 1410°C.

Verhoging van SiO₂ tot B = 1,05 → TI = 1300°C.

Het solidusvlak ligt op 1210 tot 1250°C.

(De liquidustemperatuur TI betekent 100% vloeistof en het solidusvlak betekent 0% vloeistof.)



Solidus vlakken (fig. 2)

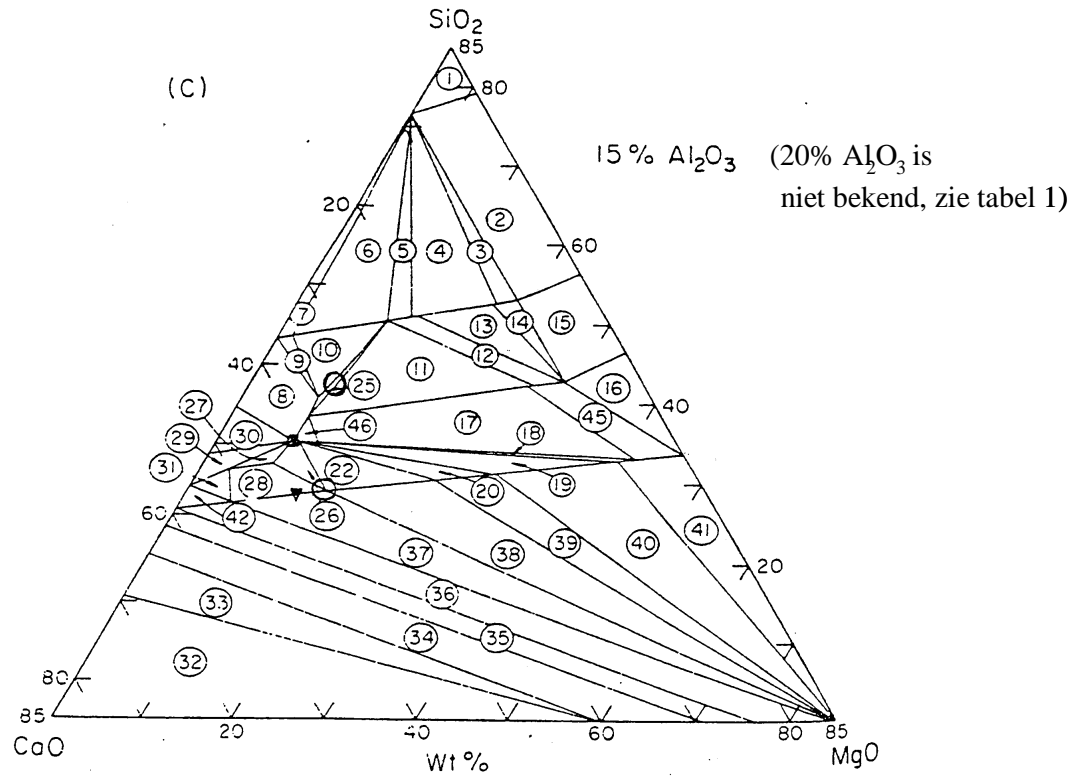


Table 6-1
**SOLIDUS TEMPERATURES, AND PHASES PRESENT IN THE
VARIOUS AREAS OUTLINED IN FIG. 120**

NUMBER OF AREA	SOLIDUS TEMPERATURE	CRYSTALLINE PHASES* PRESENT AT SOLIDUS TEMPERATURE	NUMBER OF AREA	SOLIDUS TEMPERATURE	CRYSTALLINE PHASES* PRESENT AT SOLIDUS TEMPERATURE
1	1300°	An + Cord + Mul + Sil	24	1250°-1357°	Di + Fo(75-83) + Mel(70-100)
2	1200°	An + Cord + En + Sil	25	1210°-1225°	An + Di + Mel(70-81)
3	1200°-1222°	An + En(82-100) + Sil	26	1380°-1390°	Mel(37-63) + Mer + Sp
4	1170°	An + Di(78) + En(82) + Sil	27	1390°-1400°	C ₂ S + Mel(37-100) + Mer
5	1135°-1200°	An + Di(100-78) + Sil	28	1390°	C ₂ S + Mel(37) + Mer + Sp
6	1135°	An + Di + Sil + Wo(93)	29	1300°-1360°	C ₂ S + Mel(0-100) + Ra
7	1150°	An + Pw + Sil + Wo(93)	30	1290°-1350°	Mel(0-100) + Pw + Ra
8	1220°-1246°	An + Mel(0-81) + Pw	31	1390°-1414°	C ₂ S + Mel(0-37) + Sp
9	1220°	An + Mel(81) + Pw + Wo(93)	32	1395°	C + C ₂ A + C ₂ S + Per
10	1210°	An + Di + Mel(81) + Wo(93)	33	1380°	C ₃ A + C ₂ S + C ₆ S + Per
11	1225°	An + Di + Fo(83) + Mel(70)	34	1295°	C ₃ A + C ₁₂ A ₇ + C ₂ S + Per
12	1200°-1270°	An + Di(78-100) + Fo(83-100)	35	1300°	CA + C ₁₂ A ₇ + C ₂ S + Per
13	1200°	An + Di(78) + En(82) + Fo	36	1325°	CA + C ₂ S + Per + Sp
14	1200°-1260°	An + En(82-100) + Fo	37	1410°	C ₂ S + Mer + Per + Sp
15	1240°	An + Cord + En + Fo	38	1400°	Mer + Mon + Per + Sp
16	1300°	An + Cord + Fo + Sp	39	1400°	Mon(74-100) + Per + Sp
17	1285°	An + Fo(80) + Mel(70) + Sp	40	1400°	Fo(74) + Mon(74) + Per + Sp
18	1285°-1400°	Fo(74-80) + Mel(63-70) + Sp	41	1400°-1540°	Fo(74-100) + Per + Sp
19	1380°	Fo(75) + Mel(63) + Mon(75) + Sp	42	1350°	CA + C ₂ S + Geh + Sp
20	1380°-1400°	Mel(63) + Mon(75-100) + Sp	43	1380°-1436°	Mel(63-100) + Mer + Mon
21	1375°-1437°	Fo(74-75) + Mel(63-100) + Mon(74-75)	44	7	Mel(63-100) + Mon(75-100)
22	1380°	Mel(63) + Mer + Mon + Sp	45	1285°-1317°	An + Fo(80-100) + Sp
23	1475°	An + Cor + Mul + Sp	46	1285°-1360°	An + Mel(0-70) + Sp

* Abbreviations used have the following meanings:

AK	= Akermanite	CA ₂	= CaO-2Al ₂ O ₃	Fo	= Forsterite
An	= Anorthite	CA ₆	= CaO-6Al ₂ O ₃	Geh	= Gehlenite
Cor	= Corundum	G	= CaO	Mel	= Melilite (Given in % akermanite)
Cord	= Cordierite	C ₃ S	= 3CaO-SiO ₂	Mer	= Merwinite
C ₃ A	= 3CaO-Al ₂ O ₃	C ₂ S	= 2CaO-SiO ₂	Mon	= Monticellite
C ₁₂ A ₇	= 12CaO-7Al ₂ O ₃	Di	= Diopside	Mul	= Mullite
C ₂ A	= CaO-Al ₂ O ₃	En	= Enstatite		

Parentheses after the compound abbreviation indicates the content (in %) of that species in one of the solid-solution series shown below: Diopside-Enstatite; Akermanite-Gehlenite (Melilite); Forsterite-Monticellite. Thus Fo(80-100) means that forsterite ranges in composition from 80% forsterite-20% monticellite to 100% forsterite.

Verklaringen figuur 2.

SYSTEMS IN WHICH A GAS PHASE IS NOT IMPORTANT



Bijlage 3

Aanblazen Ho7 april 88

Uitgangssituatie.

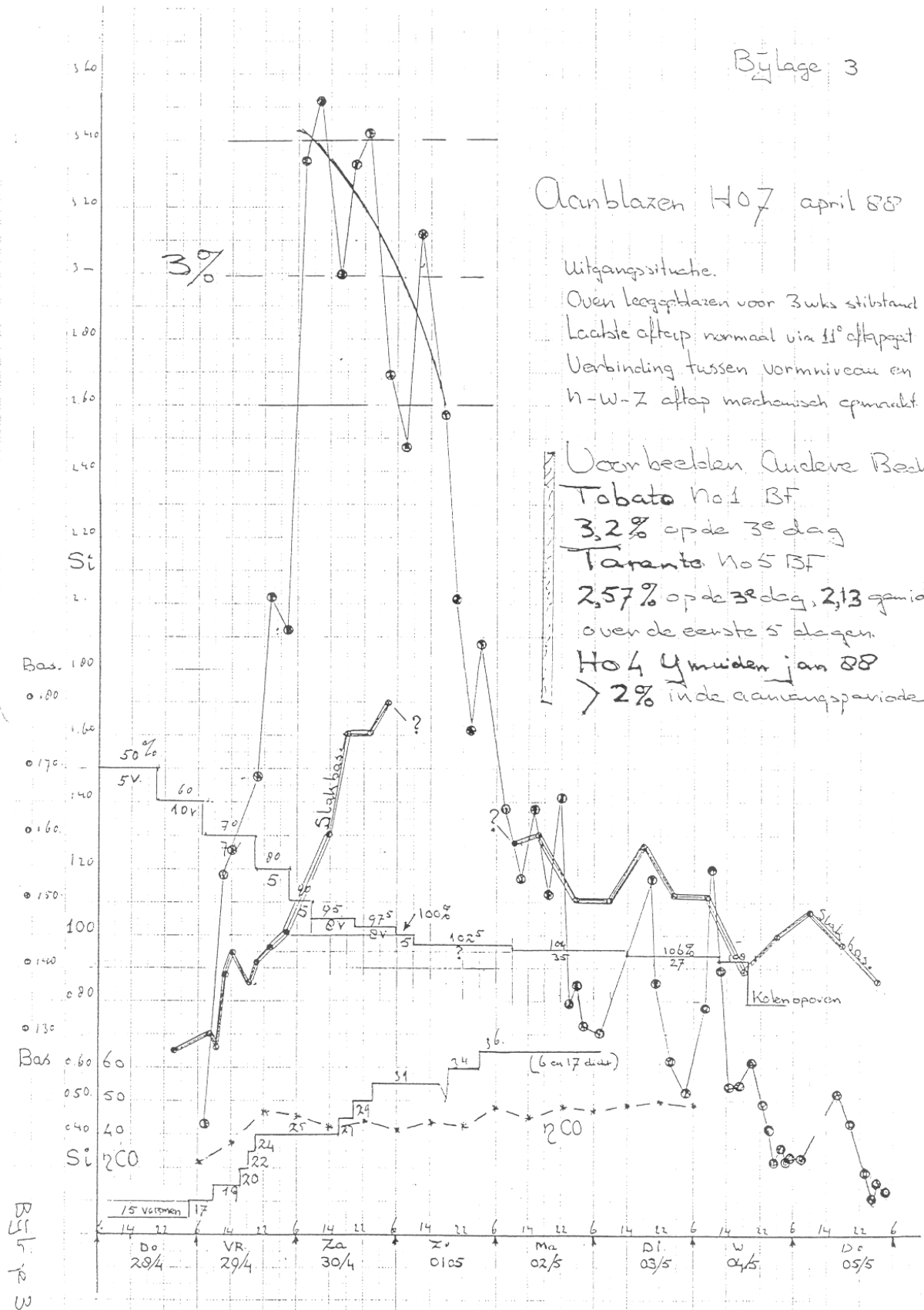
Oven leeggeblazen voor 3wks stilstand
 Laatste aftap: normaal via 11° aftapput
 Verbinding tussen vormniveau en
 H-W-Z aftap mechanisch gemaakt

Voorbeelden Andere Best

Tobato No 1 BF
 3,2% op de 3^e dag

Taranta No 5 BF
 2,57% op de 3^e dag, 2,13 gemid
 oven de eerste 5 dagen.

Ho 4 IJmuiden jan 88
 > 2% in de aanvangsperiode



Bijlage 3

Tabel 2

1.4 Samenstelling en resultaten aanblaasmolers HO 7 voor april 1988													
	Gewijzigd tbv opname												
	hoog SiO ₂ erts Tazadit Si												
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	97,5	100	102,5
Molers	%												
Sinter	kg	20.000	27.200	35.200	41.600	50.000	62.000	70.000	82.000	96.000	108.000	115.000	123.000
HO pellets	kg	4.800	21.400	37.200	54.200	69.200	79.000	92.000	120.000	125.000	125.000	127.000	128.000
Samascor	kg						300	400	500	500	500	500	500
Bauxiet	kg								400	1.000	2.000	2.500	3.000
Tazadit Silicious	kg					6.000	10.000	17.000	20.000	12.000	6.000	2.000	
Totaal	kg	24.800	48.600	72.400	95.800	119.200	147.000	197.400	222.500	234.700	241.500	247.000	254.500
Kooks droog	kg	80.800	80.800	80.800	80.800	80.800	80.800	80.800	80.800	80.800	80.800	80.800	80.800
HO slak	kg	65.000	63.000	59.000	58.000	56.000	40.000	20.000	11.300	9.000	6.600	4.000	
aantal vullingen		1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Resultaten en uitgangsp													
Si in RY	%	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1,00	2,00	3,00	3,00	2,00	1,20	0,75
Ruwijzer	kg	15.448	30.881	46.242	61.478	76.531	92.365	107.780	123.247	138.387	146.100	150.180	153.677
Kooks dirton RY	kg	5.231	2.617	1.747	1.314	1.056	875	750	656	584	553	538	511
Sinter	%	80,6	56,0	48,6	43,4	41,9	42,2	40,6	36,5	36,9	40,9	44,7	46,3
HO pellets	%	19,4	44,0	51,4	56,6	58,1	53,7	53,4	56,7	53,9	53,3	51,8	50,3
Mn in RY	%	1,75	1,00	0,74	0,62	0,55	0,6	0,52	0,47	0,47	0,49	0,50	0,50
P in RY	%	0,154	0,098	0,080	0,071	0,065	0,062	0,061	0,059	0,058	0,058	0,058	0,058
Slak/RY	kg	4620	2330	1530	1173	952	663	406	299	282	279	280	252
S in de slak	%	1,72	1,67	1,94	1,59	1,54	1,70	1,83	1,92	1,78	1,66	1,52	1,39
Slakanalyse													
SiO ₂	%	34,1	34,2	34,2	34,3	34,2	33,9	33,9	32,8	32,7	32,1	32,2	32,4
CaO	%	34,6	34,6	34,6	34,5	34,6	34,6	34,6	34,4	36,3	36,7	36,1	36,9
Al ₂ O ₃ + TiO ₂	%	18,8	18,5	18,2	18,0	17,7	17,3	17,3	17,5	17,3	17,3	17,3	17,2
MgO	%	10,0	10,2	10,5	10,7	10,9	11,8	11,8	12,7	12,7	12,4	12,0	11,6
Basiciteit op keuze Si		1,30	1,31	1,32	1,32	1,33	1,37	1,37	1,44	1,47	1,50	1,49	1,50
Basiciteit op 0,6 Si		1,30	1,31	1,32	1,32	1,33	1,12	1,12	0,94	0,94	1,13	1,31	1,56
CaO/SiO ₂		1,01	1,01	1,01	1,00	1,01	0,98	1,02	1,05	1,08	1,11	1,12	1,11
Volume	m ³	212,5	222,5	231,3	241,6	251,6	253,7	230,4	256,0	267,4	273,6	278,0	283,3

L = werkelijk gereden

Bijlage 4

Stilstandvoorbereiding en aanblazen.

Tot in januari 1988 werd de stilstandvoorbereiding meestal beperkt tot geven van een aantal bakken kooks en het inzetten van een möller met een lagere slakbasiciteit (tot 10% relatief) door het omwisselen van grote hoeveelheden sinter en pellets. (minder sinter, meer pellets)

Het tijdstip waarop de verandering werd gemaakt werd zo gekozen, dat "de extra kooks" voor de vormen lag op het moment van stil gaan.

Na aanblazen werd de koleninjectie zo snel mogelijk op de oven gezet, in principe alleen gedicteerd door het windvolume en de ingestelde minimum begrenzingsen.

In 1987 t/m het eerste kwartaal 1988 hadden we gemiddeld één uitbraak (in het windaanvoersysteem van ringleiding naar oven) per maand. Bij de evaluatie van de problematiek in begin 1988 bleek, dat de uitbraak veelal zat na een verstopte aftak, gezien in de stroomrichting van de hetewind. De conclusie die door ons werd getrokken luidde als volgt;

Door blokkering van de winduitstroom in de oven stopt de windaanname van een bepaalde vorm. De poederkool wordt met de transportlucht gewoon doorgedrukt naar de blaaspip. Met 1 m³/min transportlucht/poederkool mengsel is het windarmatuur binnen één minuut geheel met poederkool gevuld. de poederkool komt in de ringleiding, vliegt in brand met de hetewind en duikt in de naastgelegen windaftakking. De hierbij optredende gastemperaturen zijn ruim in staat het vuurvast van ons windsysteem af te smelten zoals bleek bij inspectie van de hetewindleiding in 1991. De stenen waren zodanig afgesmolten dat de voegen van de kopkanten uitstaken. Onder in de windleiding werd de afgesmolten steen teruggevonden, a.h.w. uitgevloeid als mastiek op een zeer warme dag.

Doorredenerend trokken we de conclusie dat er geen KI op de oven gezet mocht worden voordat redelijk normaal zakgedrag gewaarborgd was. Deze beslissing leidt tot een situatie bij aanblazen met een sterke ondermaat aan SRE per ton, tenzij van te voren reeds ingezet en op het juiste moment bij de vormen aangekomen.

Besloten werd de stilstandvoorbereiding zo uit te voeren, dat naast de extra kooks ter compensatie voor de afkoeling in de stilstand, er ook één of meer vullingen KI tekort, aan extra kooks in de oven werd gereden en wel zodanig dat de extra kooks net in of net voorbij de smeltzone zal komen rond het tijdstip van stilzetten. Tevens werd besloten de "zure" möller wat aan te dikken tot 10% minimaal om de oven wat soepeler en sneller tot een normaal zakgedrag te brengen zonder de noodzaak van langdurig grote "vochtstoten".

Intussen werd de aanzet gegeven tot het beveiligingssysteem wat nu bekend staat onder de naam "zwartkijker".

Hierop volgde het Tazadit Silicious erts "ontdekt", een hematiet erts met 30% SiO₂, fijn verdeeld in de structuur.

Dit bood de mogelijkheid, de zure möller te maken met beperkte hoeveelheidwijzigingen tov. de oude situatie. Immers uitwisselen van een grote hoeveelheid sinter voor pellets verandert niet alleen de basiciteit maar ook de laagjes opbouw in de oven doordat de taludhoek zich wijzigt.

Alles bij elkaar waren de ingrediënten bijeen gehaald en moest de optimale samenhang op basis van praktische ervaring worden uitgedokterd.

Hier overheen kwam nog de grote verandering in procesbesturing, nl. het kiezen voor een constante ertslaagdikte i.p.v. een vast kooksgewicht van 2 volle bakken en de daarop volgende ommezwaai naar een centraal doorgaste oven door het creëren van een hoge steile smeltzone met een schone kookskolom in de oven.

In deze nieuwe situatie blijkt de gewenste voorloop tov. het moment van stilzetten negen vullingen te zijn of wel uitgedrukt in te produceren ruwijzer 1400 ton voor HO 6 en globaal 2000 ton voor HO 7.

Deze waarden zijn empirisch bepaald doordat de feitelijke momenten van stilgaan wel eens te vroeg dan wel te laat vielen.

Met name "te laat" bijt zichzelf omdat de oven dan te warm de stilstand in gaat en er ook te warm uitkomt, meestal gevolgd door een koude periode daarna. Weliswaar is dit laatste te repareren met extra KI op de oven maar de geïntroduceerde slinger in de kwaliteit is niet gewenst door de staalfabriek.

Kortom, tracht rond stilstanden de extra kooks in de onderkant van de smeltzone te krijgen en de zure möller feitelijk door de oven.

De zure möller moet flink (3 vullingen) eerder zijn dan de extra kooks omdat t.g.v. menging met de slak (die standaard is) in de oven het effect ervan tamelijk traag doorkomt.

Als de oven wordt aangeblazen wordt het gebrek aan KI gecompenseerd door de extra kooks die dan snel bij de vormen aankomt.

De vlamtemperatuur zonder KI inzet is tamelijk hoog. De reductie van FeO uit de smelt kan dan zeer snel verlopen waardoor een stugge smeltsituatie ontstaat. Het extra aan SiO₂ in de smelt compenseert het "gebrek" aan FeO. Tevens levert het de benodigde Si bij een wat doorschietende Si-waarde in het ruwijzer.

Als alles volgens recept verloopt is het zelden noodzakelijk de vanouds bekende "vochtstoot" toe te passen en zal de oven uit zichzelf gaan lopen, zodat er tijd voldoende is om zakgedrag af te wachten zowel als het tijdstip waarop KI gepland op de oven moet worden gezet.

Als de oven conform het stilstandprogramma op het gewenste tijdstip is stilgezet en het thermisch niveau is normaal gebleven, dan is het belangrijk dat het startpunt KI op de oven na aanblazen netjes op de afgesproken uitgerekenende waarde wordt geprikt. Immers de berekende 1 à 2 vullingen moeten zonder KI worden gedraaid en dus ook niet ten dele met KI.

Want als gerekend is zonder KI en het wordt met KI, dan sleept de wind per ton te produceren RY nog eens 40 à 50% aan voor de vormen te vergassen koolstof naar binnen.

De productiesnelheid zal hierdoor dalen en een toch al warme oven zal langer te warm blijven omdat de smeltzone naar boven schuift.

Alleen als de oven bij het ingaan van de stilstand koud tot te koud is kan van het bovenstaande gebruik worden gemaakt om de oven zo snel mogelijk thermisch op te krikken dan wel te voorkomen dat de smeltzone te laag komt te liggen.

Een oven die feitelijk veel te warm de stilstand ingaat zou men kunnen "remmen" door de KI er te laat op te zetten. Echter veel wordt ook de periode zonder extra zuurstof langer wat de productie ook remt. Een halve KI waarde met de volle zuurstof werkt wel maar geeft een hoge vlamtemperatuur en dus een hoog Si.

Beter is om de overmaat "energie" weg te drukken met vocht. Dit verlaagt het thermische niveau van de onderoven behoorlijk en dat van de schacht eveneens. Vocht levert echter ook reductiegas in de vorm van CO en H₂ waardoor de gasreductie toch redelijk wordt ondersteund.

Bij het na stilstand weer in productie gaan, dient men het volgende te bedenken. In de vulling(en) waarbij geen KI op de oven staat, draait de oven op een "All Coke" möller met een overmaat aan SRE, nl de compensatie voor de koelverliezen. Om de vlamtemperatuur niet te extreem te laten worden wordt geen of nauwelijks O₂ aan de wind toegevoegd. Dit betekent dat de productiesnelheid (ofwel vormenkooks vergassingsnelheid) laag is nl.

$$\left\{ \frac{W \text{ vol}}{W. \text{ vol RW}} \times \frac{21}{21 + \text{verrijking}} \right\}$$

Dit is meestal niet meer dan 50% van de normale productiesnelheid. Bovendien moet alle ruimte die door inklink en dichtvallen van de raceway is verdwenen, wederom ontstaan. Het zal dus wel enige tijd kunnen gaan duren voordat er "redelijk normaal" zakgedrag wordt geconstateerd, dé voorwaarde voordat in deze omstandigheden de kolen op de oven kunnen.

In bovenstaand voorbeeld duurt de verwerking van één vulling gemiddeld gauw een uur. Bij het al dan niet toch nog willen geven van een vochtstoot moet dit wel bedacht worden. Een vochtstoot is soms nodig als de extra SiO₂ reeds is geconsumeerd bv. tgv van een veel te hoog Si in ruwijzer en bij veel te laat stilgaan t.o.v. de voorbereidingstijd. Echter enig geduld is vaak wel op zijn plaats. Mocht er hoe dan ook te veel zijn geconsumeerd dan kan men trachten via gematigd extra zuurstof in combinatie met extra vocht voor de vlamtemperatuurregeling, de aanloop te versnellen.

De hoeveelheid vloeibaar die kan worden afgetapt in de eerste 2 uur na een stilstand is in het algemeen beperkt. Enerzijds is al aangegeven dat we over de eerste 2 vullingen 2 x zo lang doen, anderzijds moeten we ook bedenken dat al het vloeibaar wat is afgetapt nadat we de brillen hebben verwijderd, feitelijk behoort bij de volgende aftap, nl de eerste die na de stilstand komt.

Ook zal de productieberekening na de stilstand een zeer optimistisch beeld geven. Deze is nl geënt op de KI met een laag kooksverbruik voor de vormen. Dat dit 1,8 x zo hoog is weet de berekening niet en daarmee ligt de werkelijke productie op 50 à 60% van de berekende waarde, zeker tijdens de eerste vulling.

Het is dus niet zo zinvol vroeg open te gaan. T.g.v. de matige gasproductie is er slechts lage druk in de oven en de hoeveelheid aftapbaar ruwijzer is aan de (zeer) magere kant.

Globaal zou ik willen voorstellen niet eerder open dan het moment waarop de oven op kolen gaat.



De siliciumschakelaar na aan blazen.

De ervaring heeft geleerd dat het Si in het ruwijzer nog wel eens flink wil doorschieten na een stilstand, zeker als aan de stilstand een bijzondere voorbereiding is vooraf gegaan. Een deel van de Si opbouw heeft voornamelijk te maken met het drukniveau in de oven in geval van zo'n niet stationaire situatie en nauwelijks betrekking op de productiesnelheid bepaald uit Si tov. richtwaarde Si. De voortschrijdende Si waarde valt in dit soort gevallen te hoog uit en berekent een te lage productiesnelheid. Dit valt meestal niet op aan het proces omdat veelal de thermische toestand "te heet" is. De koleninjectie wordt echter ook op een te lage waarde aangestuurd. Dit kan zich gaan wreken als de oven kouder wordt. Op basis van de naijlende "Si schakelaar" wordt te weinig kolen geïnjecteerd en dus te weinig gas per ton geproduceerd. De oven zal te koud worden indien niet tijdig wordt ingegrepen.

Een handige methode om dit te ondervangen is het op de hand nemen van de Si regeling. Zet de schakelaar vast en geef een waarde mee die ligt midden tussen de richtwaarde en de te hoge waarde. Zet als de hoge waarde 0,60% wordt of lager de schakelaar vast op richtwaarde. Gooi de schakelaar los als de berekende waarde in de buurt komt van de richtwaarde. Zorg voor voldoende analyses en laat ze bij twijfel op nieuw maken. Bij gebrek aan analyses kan regelmatig temperaturen voldoende informatie geven om "doorzakken te voorkomen.



**Corus Strip Products IJmuiden
Manufacturing Hoogovens**

Het Hoogovenproces

Hoofdstuk : 07 bijlagen
Revisienummer : 01
Datum uitgifte : 12-2001
Bladzijde : 30 van 7



Bijlage 5

Diepblazen van een Hoogovens

Wat is diepblazen?

Diepblazen is het bedrijven van het hoogovenproces zonder gelijktijdige belading.

Kenmerken;

Zelfs de laatst ingereeden laag ijzerhoudend ondergaat het gebruikelijke temperatuur – reductietraject alsof de oven gewoon vol was gebleven.

De schachtgastemperatuur kan niet worden opgenomen door de koude lading en moet daarom worden vernietigd door ingespoten water. Dit water mag de bovenste erts laag niet bereiken, niet direct en ook niet via de wand

Het overgrote deel van het gas, te produceren door de bovenste kookslagen en de in te blazen poederkool, is bestemd voor ertslagen die niet in de oven zijn gekomen. Feitelijk hoeft alleen de kooks voor directe reductie en de 52 kg/ton op te lossen in het ruwijzer tussen de ertslagen aanwezig te zijn, zo gauw als de ertslagen boven de 1000° C (FeO 0,6) zijn gekomen. Dit betekent in de praktijk met 300 kg kooks/try en totaal 475kg SRE/try dat de poederkool direct of vrijwel direct van de oven kan. (eventueel wat langer op een lager niveau). Het tijdstip is eenvoudig af te lezen op de gasanalyse, CO₂ daalt nl. zeer snel. {gasanalyse apparatuur niet laten verzuipen}

Ladinghoogte voor aanvang diepblazen

Lading die niet in de oven zit hoeft er ook niet uitgewerkt te worden tijdens diepblazen. Het is dus belangrijk de oven voor het stilzetten, voorafgaand aan diepblazen zo diep mogelijk weg te zetten. In de praktijk is gebleken dat 7 à 8 meter lager dan het standaard ovenpeil (zonder in werking treden van de topkoelpomp) zeer goed mogelijk is. Men dient dan echter wel 8 uur van te voren te beginnen met stapsgewijze verlagen van het ovenpeil. Dit heeft tevens het voordeel dat diverse werkzaamheden in de voorafgaande stilstand eenvoudiger kunnen gebeuren.

De toplaag van de lading dient te bestaan uit kooks.

Het is vrijwel niet te voorkomen dat het koelwater de toplaag raakt. Het contact van water met hete kooks produceert watergas en dus veel H₂. Dit geeft een indicatie voor de mate van contact tussen sproeierwater en kooks toplaag. Tevens is het raadzaam de laatste erts laag aan de wand een relatief geringe laagdikte te geven. Hierdoor komt extra kooks aan de wand, ter compensatie voor "wandwater" dat op de wand gespoten in een film naar beneden loopt.

Het sproeien dient altemeerend te gebeuren dwz. bij meerder sproeiers om en om dan wel in paren met voldoende frequentie van wisselen. Bedenk dat de topanalyse te traag is voor een goede indicatie met behulp van waterstof. De toptemperatuur meting werkt in dit geval veel beter, doch heeft ook zijn nadeling. Laat daarom de temperatuur niet oplopen totdat de maximum waarde wordt gemeten, maar start reeds op 70% van de range tussen min- en max. toelaatbare temperatuur.

Voorts is het handig kleine en grote sproeiers te hebben. Vooral in het begin worden veelal alleen kleine sproeiers gebruikt en is het onhandig om te moeten werken met grote volumina en kleine tijdsintervallen.

De na te streven gemiddelde toptemperatuur wordt bepaald door de maximaal toelaatbare staaltemperatuur van de uptakes, gemeten juist boven de ring waar de vuurvaste bekleding van deze stijgleidingen stopt.

Let op. De pantsertemperatuur van de stijgleidingen is niet de toptemperatuur. Bovendien kan er een stevig onderling verschil ontstaan tussen de vier stijgleidingen. Het is zaak bij twijfel goed te controleren, zeker bij bijna windstil weer.

De warmte energie die uit de oven komt zal overwegend worden opgenomen door het waswater van de gasreiniging. De watertemperatuur zal daarbij boven de 60° C uitkomen en een evenwicht vinden via extra verdamping door opschroeven van de temperatuur en de bij die temperatuur behorende verdampte hoeveelheid water.

De gastemperatuur en de watertemperatuur zijn na de wassing gelijk.



Bij 60° C zit er dan 130 gram waterdamp in een bruto m³. Als dit gas de expansieturbine doorloopt, zal deze turbine veel van de energie omzetten en kWh's waardoor de gastemperatuur sterk zakt en veel water wordt uitgecondenseerd. Als de turbine niet beschikbaar is blijft vrijwel alle energie in het gas. Dit kan onder windvrije omstandigheden de temperatuur van de leidingen naar het hoofdgasstelsel doen oplopen tot boven de 60° C hetgeen ontoelaatbaar is. Feitelijk moet aan een van de volgende voorwaarden worden voldaan; of de turbine doet zijn werk naar behoren of we wassen met koud water in een doorloopstelsel direct op het riool (once through systeem). Bij de laatste diepblaasomstandigheden bij hoogoven 7 was de turbine door storing niet beschikbaar, het "koudwaterbedrijf" faalde en de weersomstandigheden waren zomers en zonder wind. Toen de hoofdgasafvoer over de leidingbrug rond de 60° C was geworden, moest het windvolume worden afgeregeld. Toch liep de temperatuur nog verder op naar 63 à 64° C. Het openen van de hoeden (een of meer) zou technisch een oplossing zijn geweest, echter milieuvriendelijk is deze ingreep allerminst.

Het aflopende proces.

Het naderende einde van de gasreductie is bij een goedwerkende gasanalyse eenvoudig vast te stellen. Het % CO₂ zakt geleidelijk naar de laagste waarde van globaal zo'n 5 à 6%. Dit betekent dat geproduceerd gas niet meer deelneemt aan de reductiereacties (zuurstof afbouw van het ijzeroxide) maar alleen nog maar warmte afstaat aan de materie waar het doorheen stroomt. De rest van de reductie geschiedt direct met vaste koolstof. Als dit werkpunt bereikt is kan de KI volledig van de oven (evenals de mogelijk nog aanwezige zuurstofverrijking). Dit heeft als voordeel dat de vlamtemperatuur hoger wordt bij een sterk afnemend gasvolume. De onderoven wordt daardoor warmer en er wordt minder energie uit de lading naar boven gestuurd.

Als naderhand de CO₂ zijn laagste waarde heeft bereikt en weer langzaam oploopt gaan we de situatie naderen dat de kookslag zoveel dunner wordt dat de mogelijkheid bestaat dat de wind partieel door gaat blazen. Hieraan voorafgaand zal eerst de CO concentratie geleidelijk zakken {het % is sterk afhankelijk van de bijdrage van de watergasproductie door natgesproeiide withete kooks} In deze situatie moeten we gaan blazen met een zo laag mogelijke tegendruk om de impuls optimaal te krijgen. Dit verkleint de afmeting van de dode man en zorgt tevens voor het beter afrollen van de kooks (wervelbed effect) naar de vormen.

Afhankelijk van de koelcapaciteit van de sproeiers en mogelijke reacties in de installatie na de feitelijke oven is het windvolume reeds meer of minder flink afgeregeld. De toe te laten hoeveelheid aan het eind van diepblazen is moeilijk exact vast te stellen cq. te voorspellen. De ervaring leert dat doorblazen tot het punt CO₂ = CO {in procenten} goed mogelijk is, echter dan moet er wel vanaf het punt CO₂ = 0,5 x CO rustig worden geblazen (naar schatting 20% van het WV normaal)

Ook is belangrijk met de hoeveelheid koelwater zo te regelen dat het % H₂ onder de 10 à 12% blijft, immers in de eindsituatie is de H₂ uitsluitend afkomstig van de watergas reactie (water + kooks) Te veel watergasproductie verbloemt de gasproductie tgv. het blazen.

Het geproduceerde gas is uitermate rijk, gerelateerd aan de verbrandingswaarde van normaal hoogovengas. Dit is voornamelijk het gevolg van de zeer hoge concentraties aan waterstofgas uit het sproeiwater en de withete kooks. Ondanks dat is de situatie in de oven weinig explosief, immers er is nauwelijks O₂ aanwezig en een beperkte hoeveelheid CO₂. Bovendien regent het onder de sproeiers in de lege schacht zeer intensief. Echter na wassing en afkoeling houden we een tamelijk extreem en rijk gas over dat meestal buiten de toegestane waarden van de ketels van energiebeheer valt. Het lijkt daarom in deze omstandigheden verstandig dit gas sterk op te mengen dan wel bij voorkeur af te fakkelen.

Van te voren zorgen dat de sterk van samenstelling wisselende afgassen zonder problemen kunnen worden afgevoerd is erg belangrijk, zelfs als beide oven moeten fakkelen. De situatie zoals die ontstond bij HO 7 in mei 2000 waarbij het diepblazen moest worden gestopt tgv. onduidelijke afspraken en een uit de handlopend tijdschema {tov. de geplande situatie bij HO 6} is uitermate vervelend voor zowel de uitvoerenden als ook voor het milieu.

Het ladingniveau tijdens het diepblazen is interessant maar eigenlijk niet zo erg belangrijk.

- a) het vereist een behoorlijke inspanning om peillieren te installeren
- b) het vereist vaardigheid om de peilgewichten niet af te laten branden
- c) de vermindering van de oveninhoud kan aardig gevolgd worden via de afgetapte hoeveelheid uiteraard voor zover het ijzer en slak betreft
- d) de wanddrukmeting geeft eveneens een indicatie tot welke hoogte de lading tegen de wand ligt

Op basis van de gegevens verkregen tijdens het diepblazen van HO 7 heb ik berekend hoeveel ijzerinhoud deze oven heeft gehad. Dit was 2100 ton bij een KVB = 410 kg/ton en zal 2450 ton zijn bij een KVB van 310 kg/ton.

Voorafgaand aan de stilstand hadden we de oven diep weggezet. Dit had de inhoud reeds verminderd met globaal 2 vullingen zijnde 460 ton ijzer. De resterende 1600 à 1700 ton kon via de MINT meting goed gevolgd en bepaald worden. In het laatste uur liep de productiesnelheid zeer snel terug naar 0 vanaf ongeveer 2 ton/min. Tevens werd bij de steek duidelijk waargenomen dat er overwegend slak liep. Het 0 punt ruwijzerproductie werd na ongeveer 8 uur bereikt. De gemiddelde tapsnelheid in het voorstuk van het diepblazen was 4 ton/min over de eerste 5 uren.

Het inbouwen van de stoomlansen

Het hoofddoel van de stoomlansen is een situatie te scheppen die moet voorkomen, dat er omstandigheden kunnen ontstaan die tot een explosie aanleiding zouden kunnen geven. In feite probeer je ontstekingsmogelijkheden te onderdrukken cq. bij voorbaat te doven. Dit is van belang in het allereerste deel van de diepblaasperiode als de halve schacht leeg is en we uit de stilstandsituatie vandaan komen. Echter als de sproeiers zeer regelmatig bijstaan en de oven gevuld is met oververzadigd gas en stoom van de sproeiers is het nut van de stoomlansen maar betrekkelijk. Wel wordt deze stoominput weer belangrijk als het diepblazen wordt beëindigd of onderbroken.

De gasanalyse tijdens de diepblaassituatie.

Zoals in het voorafgaande reeds gesteld, is een goedwerkende gasanalyse onontbeerlijk. Er ontstaan tijdens diepblazen echter 2 hoofdproblemen

- a) het gas is zwaar verzadigd met enorm veel water en nog te condenseren damp.
- b) de druk is relatief laag waardoor er gezogen moet worden

Dit betekent dat speciale maatregelen niet uit kunnen blijven omdat de standaardinstallatie het gas normaliter onder druk aangevoerd krijgt en zo dit gas toch de apparatuur bereikt, dan kan de koeler het niet verwerken.

Beter is een aparte aansluiting te gebruiken na de wassing en wel zo dat deze leiding aflopend naar een condenspot gaat.

In geval van een ongeïsoleerde koperen leiding is de temperatuur van het gas voldoende laag geworden om het vocht uit gecondenseerd te krijgen, zo niet dan moet de condenspot koud gehouden worden. Vanuit deze condenspot gaat een niet te dunne leiding naar de koeler(s) en de gasapparatuur. Het gewenste debiet aan gas wordt met een voldoende grote pomp aangezogen en wel zo dat de analyse apparatuur in een deelstroom staat.

Uiteraard ontstaat er zo ook een naijling maar deze is redelijk in te schatten. Bij een met condens verzopen situatie geeft de apparatuur volslagen onbetrouwbare data.

De toptemperatuur tijdens diepblazen

Bij het diepblazen op 16 mei 2000 is de toptemperatuur niet boven de 350° C uitgekomen en het regelbereik lag tussen de 220° C en 340° C, de hogere waarden voornamelijk in het eerste deel van de gebeurtenis.

Het bereikte resultaat is sterk afhankelijk van de sproeiercapaciteit en de aandacht die er aan wordt gegeven. Hierbij is belangrijk dat alle sproeiers om en om worden gebruikt, in het begin in korte pozen dat om het benodigde water zo goed mogelijk over het oppervlak te verdelen. Het hoeft geen betoog dat het water niet langs de kant moet lopen. De kookslaag zorgt voor een soort sponswerking die de variaties uitdempt.

Indien de gemeten toptemperatuur goed in de gaten wordt gehouden en de sproeiërs flink alternerend worden gebruikt, zo gauw als de temperatuur weer gaat stijgen, is de beheersing van de toptemperatuur goed mogelijk {zoals grafiek 7 laat zien}

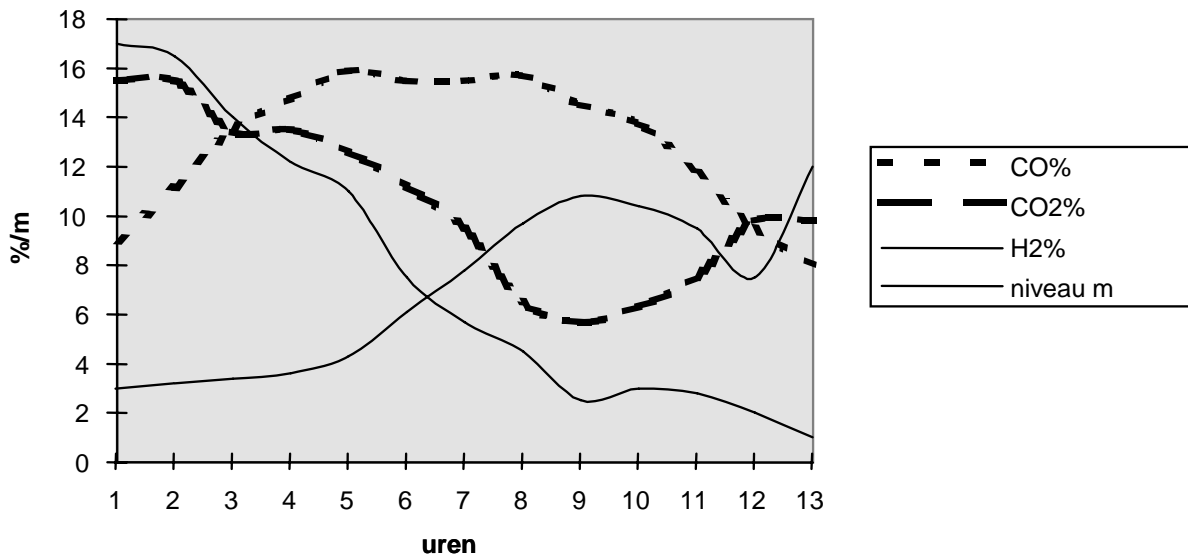
Verstandig is het om één persoon (procesregelaar) hiermee te belasten, die dan ook niets anders mag doen . Permanente aandacht is noodzakelijk omdat er altijd wel wat onverwachts gebeurt bv. pompuitval, zoals in de aangehaalde situatie.

De koelverliezen tijdens diepblazen

De koelverliezen zijn opgelopen tot een maximum waarde van 110 GJ/h ongeveer 3 uur nadat met de procedure was begonnen. Het windvolume was hierbij net op de max. waard van 4700 m³/min gekomen, de winddruk was maximaal 2,22 bar bij 1,5 bar topdruk en de oven had een diepte bereikt van 15 m tov. onderkant slagpantser. Dit is 13,7 m boven het vormenvlak. Daarna namen de koelverliezen regelmatig af naar een waarde van 65 GJ/h 4 à 5 uur later.

Een mogelijke aanzetting was in voorgaande week al bestreden door het proces wat randgangiger te verstellen. Enige indicatie van een ongewenste aanbering is niet waargenomen.

Diepblazen: gasanalyse en ladingniveau



Bijlage 6

Haard en haardbewaking

1. Model voor slijtage van de haard

De omstandigheden in de haard zijn erg belastend voor voortdurende en verergerende slijtage van het vuurvast. Het koelsysteem rond de haard en de vuurvaste bekleding zorgen voor de vorming van een aanzetting in de hoogoven (bestaande uit ijzer, slak e.d.). De vuurvaste bekleding en de aanzetting beschermen ook het pantser. De bescherming is effectief als:

- de temperatuur in het vuurvast < 450°C (lange termijn slijtage door CO-desintegratie);
- vorming van een aanzetting op de hot face van het vuurvast bij hogere temperaturen, waardoor de warmtegeleiding van het systeem (pantser, vuurvast, aanzetting) vermindert.

In beide gevallen is het van levensbelang dat de koelcapaciteit groter is dan het warmteaanbod. Om dit te bereiken zijn er twee mogelijkheden: vergroot koelcapaciteit of verminder het warmteaanbod. De koelcapaciteit wordt bepaald door het ontwerp, door de operationele situatie en door een goed warmtecontact tussen pantser en vuurvast en in het vuurvast.

Het warmteaanbod wordt in belangrijke mate bepaald door de stroom ruwijzer langs de haardwand.

Stroming langs wand ⇒ warmte aanbod ⇒ onttrokken warmte

Een gegeven stroming van ijzer in de haard legt dus een warmteaanbod aan het koelsysteem vast. Daarom zijn de temperaturen in het vuurvast een indicatie van de stroming in de haard. Slijtage van het vuurvast is onder andere een gevolg van een langdurige blootstelling aan hoge temperaturen.

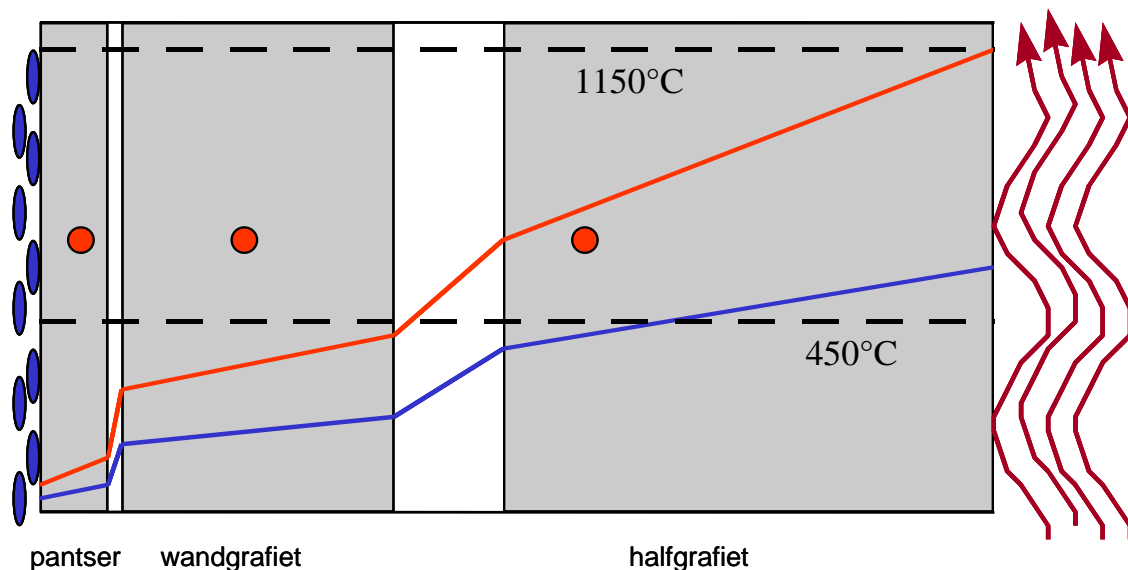
Temperaturen en warmte-flux

Een eenvoudig, een-dimensionaal systeem van het koelsysteem is aangegeven in Figuur 1. Het diagram laat de temperaturen in de haard zien bij verschillende warmtefluxen (60.000 en 30.000 W/m²). In het diagram staan grenzen aangegeven bij :

450 °C: ondergrens voor CO-desintegratie, 1150 °C: ruwijzer stollingstemperatuur.

Door iedere verticale doorsnede is de warmte flux gelijk. Warmte stroomt van rechts naar links in het diagram. De berekening is gemaakt op basis van de warmteflux en de warmtegeleiding van de verschillende onderdelen.

Figuur 1: warmtetransport door de haardbekleding



Uit het diagram kunnen we het volgende concluderen:

Als het warmtecontact op de overgangspunten goed is, dan:

→ blijft wandgrafiet onder de 450°C.

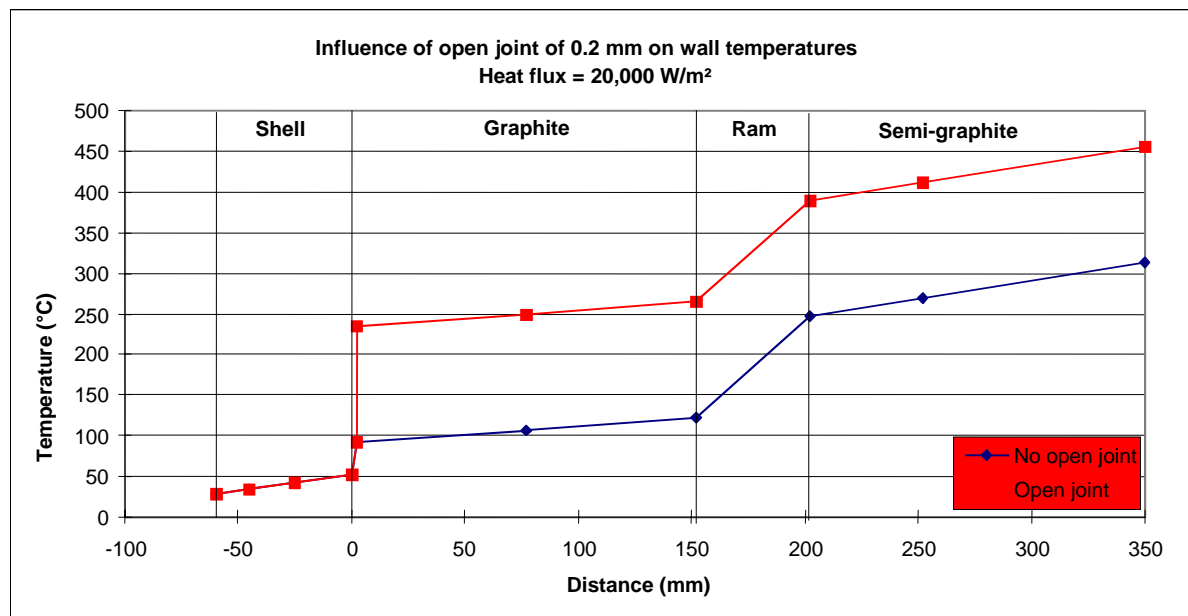
→ het halfgrafiet zal hogere temperaturen halen en gedurende periodes met hoge warmteflux aangetast worden.

→ de tussenliggende stampmassa zal ook uit elkaar vallen (als gevolg van hoge warmteflux, chemische aantasting en verdamping van de binder).

Als de stampmassa-voeg is aangetast en het halfgrafiet is verdwenen, dan zal het wandgrafiet blootgesteld worden aan hoge warmtefluxen; de wandgrafiet kan dit weerstaan, zolang het warmtecontact goed is en de warmteafvoer naar het koelsysteem gewaarborgd is.

Als het warmtecontact echter niet goed is, dan verandert het beeld ingrijpend. In Figuur 2 staat het effect aangegeven van een 0,2 mm spleet tussen pantser en wandgrafiet. De temperatuur stijgt dan met 150°C; in de praktijk worden de warmtefluxen dan weer beïnvloed.

Figuur 2: Influence of gas filled joint on temperatures



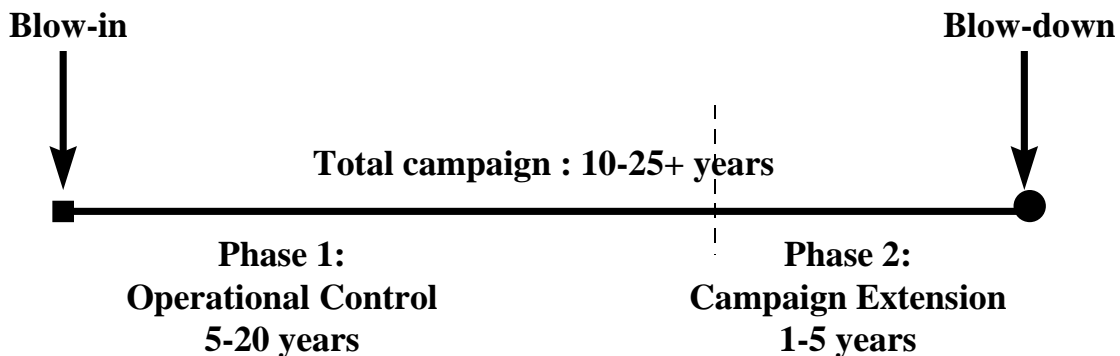
2. Overzicht van de campagne van HO 6

De campagne van de haard kan in twee fases worden gescheiden (Figuur 4): “normale bedrijfsvoering”, de eerste fase, waarin de haard in een goede conditie is en het normale onderhoud aan koelsysteem en instrumentatie wordt gedaan; de tweede fase is de “campagne verlenging”; daarin worden maatregelen genomen met effecten op het hoogovenproces, zoals Ti in het ijzer verhogen, cokes verbruik, productieniveau ed.

Het campagneoverzicht van HO 6 staat in tabel 1. HO 6 is in april 1986 in bedrijf genomen met een voorziene campagne van 10 jaar en 20 mln ton. De campagne is inmiddels verlengd tot 16 jaar en een verwachte productie van 34 miljoen ton.

De campagne verlenging begon bij HO 6 na ongeveer 9 jaar campagne; toen werd ernstige slijtage ontdekt in ongeveer 30% van de haard. De genomen maatregelen hadden betrekking op verbetering van het koelsysteem en op operationele maatregelen.

Figuur 3: Schematisch overzicht van een haardcampagne



Tabel 1: Overzicht campagne HO6; in bedrijf genomen in april 1986

In bedrijf jaar	Voorziene campagne duur (jaar)	Vuurvast conditie	Maatregelen
0	10	Nieuw	
6	12	Slijtage als verwacht: onder tapgat 350-600mm rest 900 mm	Geen
9	14	In 30% van de haard alleen wandgrafiet	Jacket koeling aftapgat oost; verbetering waterdiscipline
11	14	hoge haardtemperaturen	meer temperatuurmetingen betere kooks kwaliteit TiO ₂ gebruik kleinere en afgestopte vormen
12-13	16	haard 150 mm wandgrafiet	Jacket koeling Noord en Zuid gas lekkage van bodem en haard wand
15	16	Onveranderd	lagere koelwatertemperatuur

3. Haard slijtage en bedrijfsvoering

Op twee verschillende gebieden is slijtage in de haard te beschrijven; ten eerste is er "cirkelsymmetrische slijtage": onder in de haard, rondom en "lokale slijtage" in specifieke gebieden in de oven, vooral rond het aftapgat. (Edwards et al, 2001).

Cirkelsymmetrische slijtage

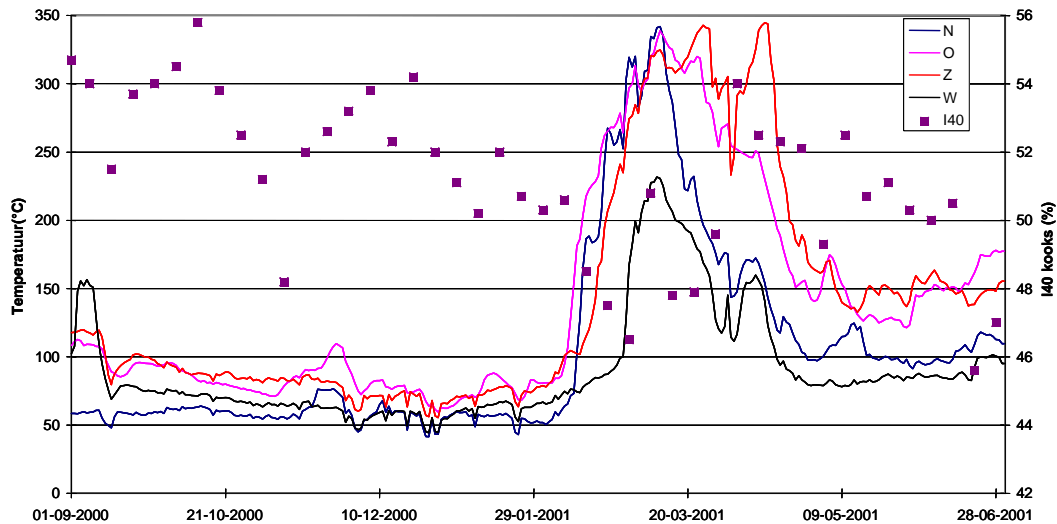
Na 6 jaar campagne was de slijtage in de haard van HO 6 1-2 meter onder aftapgat zoals verwacht; 3 jaar later bleek op een aantal plaatsen de slijtage tot op de laatste 15 cm wandgrafiet te zijn gegaan. De analyse op dat moment wees uit, dat de snelle verslechtering van de haard ondermeer te wijten was aan waterlekkage in de oven. Zoals uit het bovenstaande model kan worden begrepen, is de slijtage doorgedaan tot op het wandgrafiet (9-12 jaar in de campagne) en is de slijtage sindsdien gestabiliseerd.

Zodra de eerste indicaties van ernstige slijtage beschikbaar kwamen is een analyse uitgevoerd naar de mogelijke oorzaken.

Uit correlaties tussen vele procesparameters en hoge haardtemperaturen waren weinig duidelijke correlaties te vinden; wel bleek het volgende:

- een stilstand leidt tot een tijdelijke verlaging in de haardtemperatuur;
 - korte aftapgaten en hoge slakdekking vallen samen met hoge haardtemperaturen;
 - hoge haardtemperaturen en slechte kookskwaliteit lijken samen te vallen (fig 5); slechte kooks is kooks met een $I_{40} < 50\%$.
 - er lijkt een correlatie te zijn tussen hoge haardtemperaturen en hoog productieniveau.
- De gevonden correlaties werden gebruikt om maatregelen voor campagne verlenging te realiseren.

Figuur 4: Haardtemperatuur en kookskwaliteit



De maatregelen voor campagne verlenging kunnen enerzijds gericht zijn op verbetering van de koeling en anderzijds op vergroten van de aanzetting in de haard.

Verbetering koeling. De belangrijkste maatregelen om de koeling te verbeteren waren:

- goed schoon houden van het pantser (geen corrosie); waterbehandeling zodat geen kalkaanslag gevormd wordt, goed werkende sproeikoeling.
- verlaging van de temperatuur van het haardwater.

Vergroten aanzetting in de haard. De aanzetting aan de "hot face" van het vuurvast is een "stationaire" situatie tussen het vastvriezen van de aanzetting (uit ijzer, titaan etc) en het oplossen van de aanzetting door de stroming van het ijzer en door de samenstelling en temperatuur van het ijzer (Bergsma and Fruehan, 2001). De volgende maatregelen werden genomen:

- sinds 1986 wordt titaan toegevoegd (tot 0,12% in normaal bedrijf en 0,25% bij stilstanden);
- in noodsituaties wordt de oven afgeregegeld of stilgezet;
- wellicht heeft kookskwaliteit een invloed op de haardstroming (Fig 5). De "lege ruimte" tussen de kooksdeeltjes in de haard is echter klein: bij een salamander aftap van HO7 bleek de "lege ruimte" in de haard maar ca 15-20% te zijn.
- aftappen kunnen invloed hebben op de ijzerstroom en de warmteflux naar het pantser; langdurige aftappen leiden tot lokale stroming en "hot spots"; de aftap duur beperken tot ca 2 uur heeft vaak geholpen;
- lange aftapgaten helpen de haardtemperaturen laag te houden, maar leiden ook tot een slechtere haarddrainage (meer aderlatingen, onregelmaat in tapsnelheid).

Maatregelen om de slijtage te beheersen kunnen worden samengevat in een "haardmatrix"; een vereenvoudigd voorbeeld staat hieronder.

Tabel 2: Haard matrix en maatregelen voor Corus IJmuiden HO6; een voorbeeld

Fase	Ti in RIJ	Silicium	Kooks	Afgestopte vormen	Productie niveau
groen	0,10%	Si>0,35%	> 290 kg/t	1-2	7700 t/d
oranje	0,17%	Si 0,45%	> 325 kg/t	max 3-4	6900 t/d
rood	0,20%	Si 0,48%	> 360 kg/t	als nodig	6400 t/d

Lokale slijtage

Het belangrijkste gebied waar lokale slijtage optreedt is het gebied rond de aftapgaten. Daarnaast kunnen lokaal hoge haardtemperaturen optreden door water- of gaslekkage.

Aftapgat

Het gebied rond het aftapgat is het meest kritische gebied van de haard. Dit komt vanwege de hoge stroomsnelheid van het ijzer, de stroom gas en mogelijk ook water naar het aftapgat, de hoge turbulentie door ontgassende stopmassa en de grote variatie in temperatuur en warmtefluxen. De meeste "hot spots" bij een oven worden gevonden in de buurt van de aftapgaten. Corrigerende maatregelen in IJmuiden zijn:

- installatie van jacket koeling onder het afsteekgat;
- beperking gaslekkage door de voorstop door goede reparaties en persen;
- beperking van aftappen tot 120 minuten in geval van hot spots; en een tapgatlengte > 3 m.
- inbouwen van kleinere vormen of afgestopte vormen; in een latere analyse bleek, dat kleine vormen geen effect op de levensduur van de naastgelegen vorm heeft, terwijl een afgestopte vorm dat wel heeft (tabel 2).

Tabel 3: Levensduur vormen naast afgestopte of kleine vormen, HO6, jan 2000- maart 2001

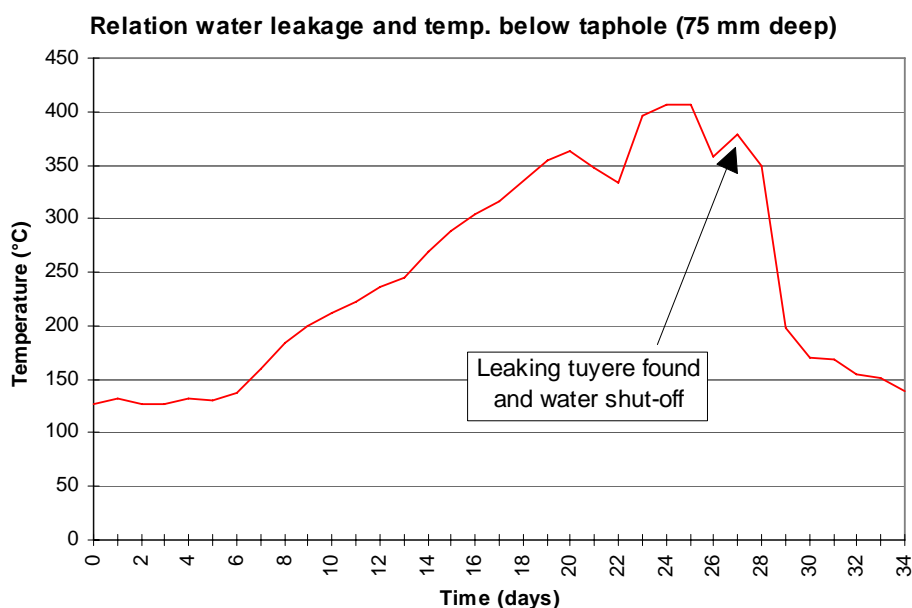
levensduur naast afgestopte vorm	73 dagen
levensduur naast kleine vorm (125 vs 145 mm)	170 dagen
levensduur tussen normale vormen	155 dagen

Water lekkage

Het voorkomen van water lekkage in de oven is een belangrijke operationele verantwoordelijkheid gedurende de campagne. Water kan de koolstof van het vuurvast aantasten (>700 °C) en ook leiden tot CO desintegratie (450-700 °C). Waterlekkage kan ook leiden tot lokale explosies en verdwijnen van de aanzetting in de haard. Een voorbeeld hiervan staat in Fig 6, waar waterlekkage waargenomen wordt m.b.v. de thermokoppels. Maatregelen in IJmuiden om de "waterdiscipline" te verbeteren zijn:

- betere instrumenten; met name wordt gas verzameld uit uitstromend water; dit geeft een betere detectiegrens;
- maandelijks preventief waterzoeken door een contractor.

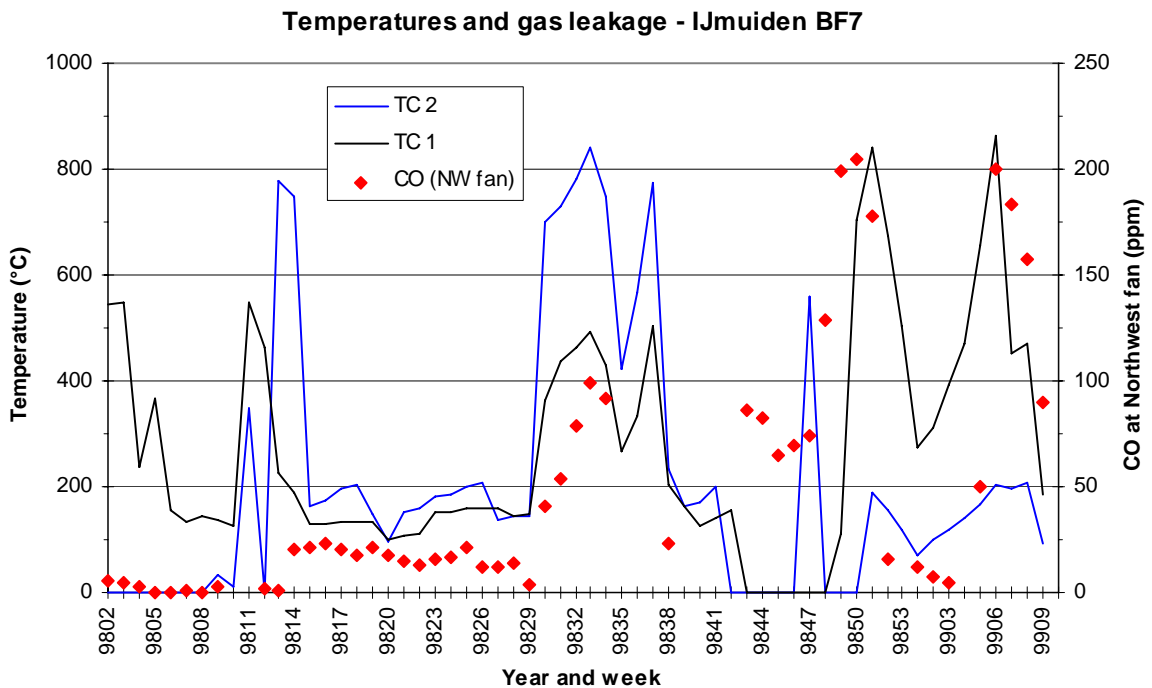
Figuur 5: Voorbeeld van waterlekkage in een vorm en toegenomen haardtemperatuur.



Gas lekkage

Figuur 6 geeft het voorbeeld van gaslekkage door de haardwand en de reactie van de haard. De gaslekkage wordt gemeten in de koelventilatoren van de bodemkoeling. De correlatie tussen gaslekkage en haardtemperaturen geeft aan, dat gaslekkage door de bodem/haardwand ten allen tijde voorkomen moet worden. Waarschijnlijk is de tussenreparatie van HO 7 het gevolg geweest van slijtage door gaslekkage. Gaslekkage door haard/bodem wordt daarom nauwkeurig gevolgd; speciaal doorboringen van het pantser (voor thermokoppels of persstompen) zijn verdacht als gaslekkage optreedt.

Figuur 6: Waargenomen relatie tussen gaslekkage en haard-temperatuur



Hoe wordt lokale slijtage beheerst?

Lokale slijtage wordt beheerst door steeds naar "hot spots" te zoeken. Omdat de resterende wanddikte maar 15 cm wandgrafiet is, is het intact houden van het vuurvast een prioriteit. Zodra de temperatuur van het wandgrafiet boven de 450°C komt, dreigt CO-desintegratie van het wandgrafiet. Daarom worden bij een lagere temperatuur (350°C) reeds maatregelen genomen. Om de maatregelen voor te bereiden is een "signalerings temperatuur" voor het wandgrafiet gezet op 250 °C; zodra deze temperatuur wordt bereikt worden maatregelen voorbereid.

Bijlage 7

Ringvormige aanzettingen in de oven

Ringvormige aanzettingen kunnen zich in de oven vormen door bijzondere omstandigheden bv. doordat de slakbasiciteit te hoog wordt of doordat er veel alkalien in de möller zitten. Hieronder hoe een aanzetting (in dit geval in India) verwijderd kan worden.

De ringvormige aanzetting bestaat uit voorgereduceerd ijzer voornamelijk bestaand uit FeO (niet magnetisch) en ijzerkristallen (magnetisch), de rest bestaat uit een relatief zuur slakaandeel met veel Al_2O_3 (Indisch) en dit alles tezamen gelijmd met zeer forse hoeveelheden alkalien, overwegend K_2O . Dit is globaal ook de samenstelling van onze "proces huid" met dit verschil dat wij nauwelijks een alkalienkringloop hebben, maar wel veel koolstof achter de aanzetting. (tussen aanzetting en bemetseling)

De oorzaak lijkt vrij duidelijk. Begin jaren 60 hadden wij dit ook nog regelmatig totdat we overgingen op een fors aandeel sinter in de möller na de bouw van Sifa 3 en een overmaat aan wanddoorgassing. Op deze wijze wisten we binnen een jaar een nieuwe chamottebemetseling op te vreten.

De oorzaak van het ontstaan van de aangroei ligt in möllerkwaliteit, met name een veel te hoog K_2O gehalte, een hoog stukertstaandeel en daarbinnen veel kleiachtig fijn stof, doordat het stukerts erg zacht is en makkelijk afslijt (Sesa Goa) of door in zijn algemeenheid een te mager afzeving dan wel een zeer slechte Low Temperature Breakdown. (Grote vergruizing in de eerste reductie stap) Kaliumoxyde (K_2O) vormt in de hoogoven een kringloop dwz. beneden is het te warm om makkelijk aanwezig te blijven en boven is het te koud om uit te treden. De onderin gevormde kaliumdamp stijgt op en condenseert op de lading en op de wand. Dat wat op de lading zit komt weer mee omlaag en hervat de kringloop. Het kaliumoxyde dat op de wand zit blijft zitten en vormt met ijzeroxyde, ijzer en slak een dichtgeplakte structuur die de aanbering vormt.

De meeste K_2O wordt met de slak afgevoerd. Een zure slak voert makkelijk K_2O af en een basische slecht. Als de slak zuurder wordt daalt de alkalienkringloop en de kalidampspanning. Bij een basische slak blijft K_2O meer en meer in de oven, vergroot de kalidampspanning en de condensatie daarvan op de wand met als gevolg toenemende aanbering. De aanbering zit altijd in de onderschacht omdat daar de omstandigheden voor de alkalikringloop het gunstigst zijn.

N.B. Het element Zink gedraagt zich globaal op dezelfde manier.

Hoe kun je dit voorkomen?

- a) De alkalienspiegel drastisch verminderen door:
 - 1) Verlaging van de K_2O (Zn) input in de oven
 - 2) Verhoging van de opnamecapaciteit van de slak door deze zuurder te maken.
- b) De wanddoorgassing te verbeteren door:
 - 1) De laagopbouw in de oven zo te sturen dat wat minder gas door het centrum loopt en wat meer langs de wand
 - 2) De möller beter af te zeven zodat er minder kleiachtig fijn in het wandbereik wordt gedumpt.
 - 3) Spreiding van de ertsdump bij gebruik van een slagpantser door 50% tegen de wand te dumpen en 50% op een afstand van de wand gelijk aan 10% van de straal (mogelijk 15% van de radius)
 - 4) De kooksdump tegen de wand te houden.

Ad 3 en 4

Als dit onvoldoende is om het centrum dicht te werken dan kan voorts nog worden besloten de laagdikte te vergroten. Als sommige bakken reeds maximaal zijn gevuld dan moet men in schema overgaan naar één bak meer in de dump.

Bv. 3 bakken à 75% vulling = 225% is 12,5% meer dan 2 bakken à 100% vulling.

Het beperkt wel de beladingscapaciteit maar is voor tijdelijk altijd wel te doen.

Bovenstaande overigens uitgaande van een normale "gladde wand" situatie. De vraag blijft hoe die te bereiken.

Er is bij mijn weten maar één echte snelle mogelijkheid en wel "opsmelten met een overmaat aan heet gas" door het doorsturen van een aantal elkaar opvolgende "Cokeblancs" onder gelijktijdig



zeer zuur/laagmaken van de slakbasiciteit $\text{CaO/SiO}_2 = 0,75$. Durft men dit niet aan in verband met de toestand van de wandbekleding dan is er nog een tussenvorm om resultaat te behalen en wel als volgt.

We vergroten de kookslaagdikte met 50% dwz. van een "twee" naar een "drie" bakkenschema en de ertslaagdikte met 20%, een verlichting van 25%.

De vergroting van de ertslaagdikte uitvoeren met een hoog SiO_2 houdend erts om de basiciteit te drukken. {Indien uitsluitend gravel beschikbaar dan tussen 5 en 15 mm korrelgrootte}

De kooks tegen de wand storten. De ertslaagdikte is vergroot om het centrum dicht te doen lopen met erts en daar een cohesive (weerstand) zone te doen ontstaan. {Mocht dit niet geheel lukken, dan erts met het slagantser spaarzaam naar binnen sturen}

Als de oven veel te warm wordt dit met stoom in de wind wegdrücken.

We houden dit lang genoeg vol totdat de oven weer een normaal zakgedrag krijgt. Daarna terug gaan naar de in het begin beschreven situatie.

De verwijdering van de aanzettingen is te volgen door temperatuurverschillen tussen inlaat en uitlaat van koelplaten te meten.

Bijlage 8

Testen van sinter, pellets en kooks

We kunnen onderscheid maken tussen de karakteristieken van möllercomponenten vóór de hoogoven (chemische samenstelling, zeefanalyse, koude sterkte) enerzijds en die van het materiaal tijdens zijn gang door de hoogoven anderzijds. Het is duidelijk dat de karakteristieken van de tweede groep slechts kunnen worden vastgesteld met behulp van een experiment waarin de hoogovenomstandigheden in gestyleerde vorm worden nagebootst (metallurgische testen). HOSIM, BRASS, KOSIM en RDI.

Tijdens de gang van een möllercomponent door de hoogoven neemt de temperatuur voortdurend toe en wordt de hoeveelheid gebonden zuurstof kleiner. De mechanische belasting blijft steeds bestaan ($0,5 \text{ kg/cm}^2$).

In het gebied rond 550°C start de reductie van hematiet naar magnetiet. Dit gaat gepaard met een structuurverandering die het materiaal verzwakt.

Het is gunstig als bij de reductie van Fe_2O_3 tot metallisch ijzer een hoge gasbenutting ontstaat. Dit vereist een goede reduceerbaarheid. Tijdens deze reductie kan zwellen van pellets optreden, waardoor deze mechanisch zwakker worden en bovendien de vrije ruimte in het bed gaan vullen, ten koste van de doorlaatbaarheid. Dit wordt via olivijninzet onderdrukt.

Bij verdere temperatuurstijging treedt verweking op, waardoor de doorlaatbaarheid terugloopt en de reductie met gas wordt belemmerd. Dit mag niet te vroeg gebeuren.

Tenslotte smelt het materiaal. Van belang is dat de smeltpunten van de diverse smeltsystemen niet te ver uiteen liggen.

Een belangrijk deel van dit complexe gebeuren wordt bestreken door een aantal testen, die in de boven aangeduide volgorde zullen worden besproken.

Gebrande druksterkte van pellets.

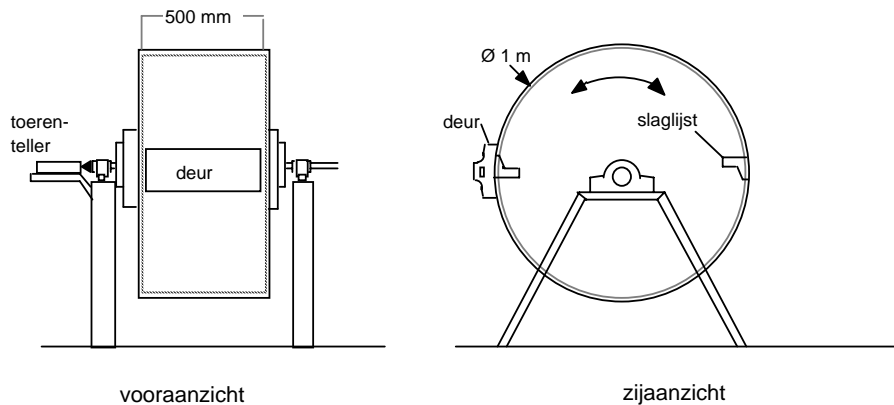
Deze wordt bij Hoogovens bepaald met een Continue druksterkte Apparaat (CDA). Een bemonsteringssysteem neemt elke paar minuten een schepje gebrande pellets van de band, waarvan een deel wordt gezeefd op ca. $11 \text{ mm } \varnothing$ (effectief).

Elk kwartier worden 100 van deze pellets achtereen door een breker geleid, bestaande uit twee wielen, waarvan er één aan een scharnierende arm is opgehangen. De maximale kracht die op de pellet wordt uitgeoefend (op het moment dat deze bezwijkt) wordt door middel van drukdozen opgenomen. Als gebrande druksterkte wordt het gemiddelde van de serie aangehouden.

ASTM voor pellets (afslijpproef)

Deze wordt eenmaal per wacht bepaald in een ASTM-trommel (914 mm diameter, 457 mm lang, twee slaglijsten, 24 r.p.m.)

Grote ASTM-trommel



Men gaat uit van 10 kg pellets 6,36 - 19 mm Ø, afkomstig van het eerder genoemde bemonsteringssysteem. Na 200 omwentelingen wordt gezeefd. Men bepaalt het percentage < 0,6 mm. Deze index geeft aan hoeveel fijn materiaal gevormd wordt tijdens transport e.d.

Tumbler test voor sinter

Hoogovens voert deze test eens per wacht uit. Er is veel overeenkomst met de ASTM-test voor pellets (zie boven). Er wordt echter uitgegaan van 23 kg sinter van >10 mm Ø. Na de test worden de percentages >10 mm en <5 mm Ø bepaald. De norm is 57% of meer boven 10 mm.

** ASTM staat voor American Society for Testing Materials. Ze hebben honderden testmethodieken uitgewerkt en vastgelegd.

Vrije zwelling (Hoogovens).

Het monster bestaat uit 10 pellets van 12 - 13 mm. Deze liggen achter elkaar in een roestvrij stalen schuifje, dat in een kwartsbuis (24 mm diameter) wordt geschoven. De buis bevindt zich in een oven, die op de plaats van het monster een temperatuurniveau van 1050° C in stand houdt.

Tijdens de opwarmfase van de pellets wordt stikstof doorgeleid. Als het monster op temperatuur is wordt zuiver CO doorgeleid, en wel 2 NL per minuut gedurende 30 of 90 minuten. Daarna wordt het schuifje naar een koele plaats geschoven en onder stikstof afgekoeld.

Na afkoeling bepaalt men uit het gewichtsverlies de bereikte reductiegraad. De procentuele volumetoename wordt bepaald door de pellets voor en na de proef onder te dompelen in kwik en de kwikverplaatsing te meten.

De normen voor de vrije zwelling liggen op < 15% bij 30 min. en < 10% bij 90 min.



HOSIM.

In het streven om de grondstoffen te beproeven onder omstandigheden die zo dicht mogelijk de werkelijkheid benaderen maakt Hoogovens gebruik van de "Hoogovens Simulatie" test (HOSIM).

Het hierbij gebruikte apparaat lijkt enigszins op dat van de Burghardt-test. De proef zelf is echter gecompliceerder omdat tijdens de proef niet alleen de gassamenstelling, maar ook de temperatuur voortdurend veranderd wordt volgens een zorgvuldig berekend programma. Deze veranderingen hebben tot doel om tijdens de proef het temperatuursprofiel en de gassamenstelling in een hoogoven zo nauwkeurig mogelijk te volgen vanaf de top tot het einde van de gasreductie.

De temperatuur wordt op vaste tijdstippen versteld (zie tabel), de gassamenstelling wordt veranderd, zodra het monster tot een bepaald stadium gereduceerd is; dit meet je door de O / Fe verhouding te volgen m.b.v. een balans.

Ieder monster wordt tweemaal getest, telkens met een gassamenstelling die overeenkomt met een bepaald (maar afwijkend) kooksverbruik.

Het monster van 500 gram moet zoveel mogelijk representatief zijn voor de hoogovenlading. Omdat de lading van onze hoogovens voor 49% uit sinter en voor 49% uit pellets bestaat, heeft men de proeven vroeger uitgevoerd met een mengsel van 250 gram pellets en 250 gram sinter. Vandaag de dag wordt de Hosim test vrijwel uitsluitend op sinter uitgevoerd.

Natuurlijk kan men de proef ook uitvoeren voor een geheel andere samengestelde lading, b.v. selffluxing sinter. Dit is gedaan met sintersoorten die op andere bedrijven gebruikt worden, teneinde onze eigen grondstoffen daarmee te kunnen vergelijken. Zie voor de volgende beschrijving ook het schema van de experimentele installatie en van de proef op volgende bladzijde.

Het monster van 500 gram wordt geplaatst in een roestvrijstalen buis die dubbelwandig is uitgevoerd, het geheel hangt in een oven waarvan de temperatuur zo geprogrammeerd kan worden, dat het temperatuurprofiel van de hoogoven zo goed mogelijk benaderd wordt, zie de tijd/temperatuurstabel. De buis is bevestigd aan een balans waarmee de hoeveelheid verwijderde zuurstof continu bepaald kan worden. Aan de hand van de gemeten waarden wordt de samenstelling van het gas in 10 stappen gewijzigd en wel zodanig, dat de te volgen richtlijn (A) zo goed mogelijk benaderd wordt.

Deze wijzigingen komen tot stand met behulp van meters en regelaars en worden gecontroleerd door een infra-rood analyse. De gasstroom door het monster wordt om de 3 minuten van richting veranderd om het monster gelijkmatig te reduceren.

De tijd die nodig is om de O / Fe - verhouding te bereiken, die overeenkomt met het einde van de gasdirekte reductie, wordt opgenomen. Het monster wordt hierna getrommeld en de fraktie < 3,15 mm bepaald.

Met de uitkomsten van deze test kan men de reduceerbaarheid van een bepaalde hoogovenvulling vergelijken met die van andere samengestelde ladingen. Daarnaast geeft de test nog informatie over de mate van vergruizing tijdens en na de reductie.

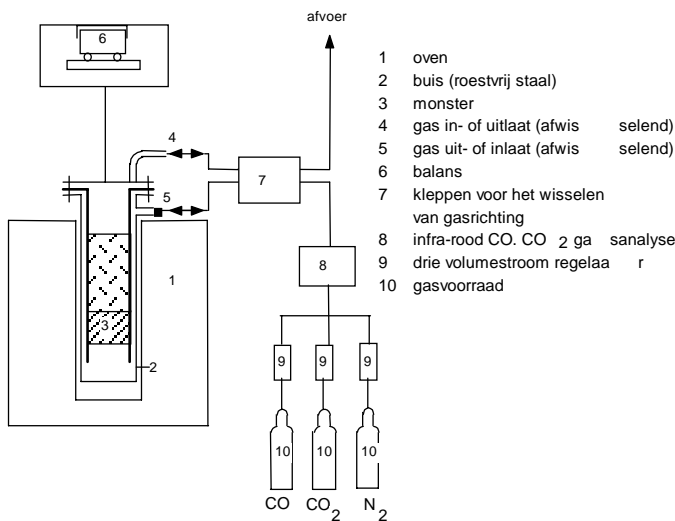
De norm voor de HOSIM-vergruizing is gezet op 18% gemiddeld.

FIGUUR 6.8

TIJD / TEMPERATUURSTABEL

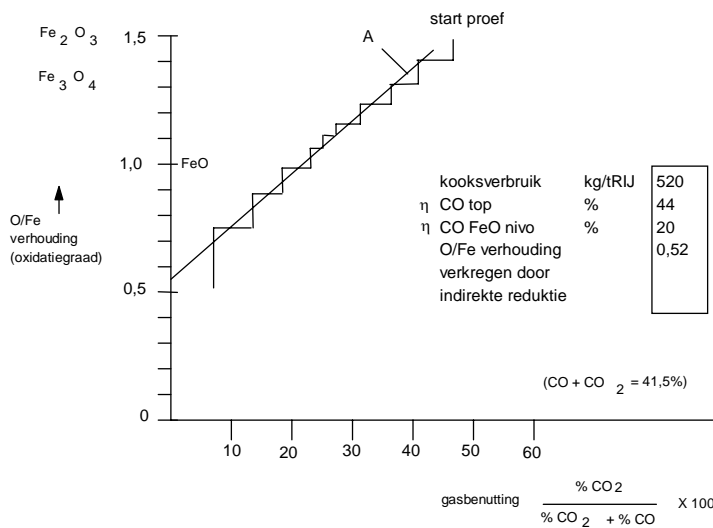
tijd in min.	0	10	60	130	200	280	340	360
temp. in °C	400	450	715	870	960	980	1065	1125

schema van het "HOSIM" ap paraat



experimentele benadering van de richtlijn A

in 10 stappen



Naast deze testen voor sinter en pellets zijn ook voor het hoogovenproces van belang:

- de chemische samenstelling en vochtgehaltes
- de korrelgrootte-verdeling.

Bij Hoogovens maken we zogenaamde olivijn-pellets. Deze pellets bevatten ca. 1,5 % MgO, ca. 0,2% CaO en 3,15% SiO₂. Teneinde een goede, basische slak in de hoogovens te produceren, moet de sinter een kalkoverschot hebben; we produceren dan ook zogenaamde "super-fluxed"-sinter met 9 à 10% CaO. Super-fluxed betekent dat er meer flux (= CaO) aanwezig is dan nodig voor de eigen zure bestanddelen. Deze overmaat compenseert het gebrek aan CaO van de pellets en de kolen- en kooksas.

Verder is van belang, dat de totale hoeveelheid vocht die met de möller de hoogoven in gaat beperkt blijft. Daarom zijn er ook normen voor de vochtcijfers. In de praktijk blijkt het overigens moeilijk om deze normen te realiseren voor sinter en pellets, die van opslag komen.

Kooks

Naast de chemische samenstelling en de zeefanalyse is vooral de mechanische sterkte van belang. Eén van de functies van de kooks is het dragen en doorlaatbaar houden van de ladingkolom in de hoogoven. Door mechanische belasting kan hier breuk en vergruizing van de stukken kooks optreden. Bij hogere temperatuur wordt de kooks bovendien aangetast door reactie met CO₂ en H₂O, waardoor de mechanische sterkte afneemt.

Aangenomen wordt dat het gedrag van de kooks in de hoogoven in zekere mate kan worden beoordeeld aan de hand van de koude sterkte. Voor de bepaling hiervan zijn verschillende testmethodes in gebruik, waarvan enkelen zullen worden beschreven.

I₁₀ en I₄₀

Bij KF2 wordt tweemaal daags en bij KF1 eenmaal per dag een monster van 400 liter genomen, en wel na zeven. Per monster wordt 50 kg in bewerking genomen, waaruit de fraktie <20 mm Ø is verwijderd.

Deze kooks wordt gedroogd bij 105° C en vervolgens gemaltraiterd in een roterende trommel (Micumtrommel, 1000 x 1000 mm), voorzien van vier slaglijsten, die de stukken kooks over een bepaalde hoek meenemen en vervolgens laten vallen. De trommel draait 500 maal rond in 20 minuten.

Daarna wordt gezeefd. Het percentage >40 mm Ø wordt aangeduid als I₄₀ en het percentage <10 mm Ø als I₁₀.

De I₄₀ hangt af van de grofheid van de kooks vóór de test en verschilt dus ook van kooksbatterij tot kooksbatterij. De grofheid van de korrel wordt ook aangegeven door de fraktie <40 mm aan te geven bij de kooksfabriek. De I₁₀ is de beste maat voor de sterkte, die we nu hebben. Normen voor kooks staan hieronder aangegeven. Verder berekenen we de gemiddelde korrelgrootte.

Sterkte	Norm	Resultaat 2000	
		KF1	KF2
I ₁₀	< 20%	19,6 %	19,4 %
I ₄₀	> 52%	44,8 %	53,7 %
Korrelgrootte			
Zeefanalyse			
< 40 mm		35 %	16 %
korrelgrootte		50 mm	62 mm
Samenstelling			
Vocht	5%	4,9 %	3,5 %
As		9,5 %	9,5 %
S		0,67 %	0,67 %

Teneinde de kooks ook onder hoogovenomstandigheden te kunnen testen, wordt thans een kookstest ontwikkeld, die vergelijkbaar is met de HOSIM test voor sinter en pellets.



**Corus Strip Products IJmuiden
Manufacturing Hoogovens**

Het Hoogovenproces

Hoofdstuk : 07 bijlagen

Revisienummer : 01

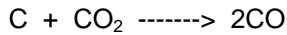
Datum uitgifte : 12-2001

Bladzijde : 48 van 7

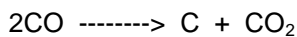
Bijlage 9

Omtrent Chemische Reacties.

Stoffen kunnen met elkaar reageren, bijvoorbeeld het reageren van koolstof met kooldioxide (koolzuurgas) tot koolmonoxide:

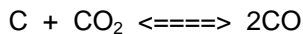


Zo'n reactie verloopt met een zekere snelheid: de reactiesnelheid (dat is het aantal moleculen of atomen dat per tijdseenheid wordt omgezet of gevormd). Iedere chemische reactie is in principe omkeerbaar, dus ook de onderstaande reactie kan verlopen:

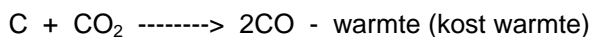


Ook deze omgekeerde reactie verloopt met een bepaalde reactiesnelheid. Hoe snel een reactie verloopt, wordt wel de reactiekinetiek genoemd.

Als evenveel moleculen CO door de eerste reactie gevormd worden als er door de tweede reactie verdwijnen, dan bestaat er evenwicht; dit wordt aangegeven als:



De ligging van het evenwicht kan verschuiven; in het algemeen is de ligging van het evenwicht alleen afhankelijk van de temperatuur en van de hoeveelheden moleculen / atomen per volume-eenheid. Bij een hogere temperatuur verschuift de ligging van het evenwicht naar de endotherme kant (warmte kostend). Als we bovenstaande reactie weergeven door:



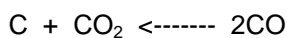
dan verschuift het evenwicht bij verhoging van de temperatuur naar de kant van het CO.

Een exotherme reactie is een reactie, waarbij warmte vrijkomt; een endotherme reactie is een reactie, waarvoor warmte nodig is.

Zoals boven staat vermeld, is de ligging van het evenwicht afhankelijk van het aantal atomen/ moleculen per volume-eenheid. Bij verhoging van de druk verandert met name het aantal deeltjes per volume-eenheid van de gasvormige stoffen.

Bij verhoging van de druk verschuift het evenwicht naar de kant met het minste aantal gasmoleculen /atomen.

Het evenwicht:

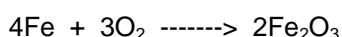


verschuift dus naar links bij verhoging van de (top)druk.

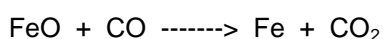
In zijn algemeenheid kan gezegd worden, dat bij een verandering in de externe omstandigheden, een evenwicht verschuift in die richting, waarin de aangebrachte verandering wordt tegengewerkt.

Voor het hoogovenproces zijn de begrippen oxidatie- en reductiereactie belangrijk. Oxidatie van ijzer is roestvorming. Oxidatie is oorspronkelijk het reageren met zuurstof, bijvoorbeeld:

Oxidatie van ijzer:



In de hoogoven vindt reductie van ijzererts plaats, bijvoorbeeld door de onderstaande reductiereactie:



Oxidatie en reductie kan ook (zelfs beter) gedefinieerd worden als het afstaan resp. opnemen van elektronen; voor onze toepassingen is het echter voldoende om oxidatie als het verbinden met zuurstof te zien en reductie als het onttrekken van zuurstof.

Bijlagen

Bijlage 1

De hoogoven als tegenstroomreactor: Consequenties voor de sturing van de doorgassing

De hoogoven is een tegenstroomreactor. De lading, bestaande uit om en om aangebrachte lagen kooks en ijzerhoudende grondstoffen, wordt koud (en nat) boven in de oven gebracht. Aan de onderzijde wordt tot 1200°C verhitte "wind" (lucht verrijkt met zuurstof) via blaasvormen in de oven geperst.

Als het proces in gang wordt gezet dan zal de hete wind in de oven (aan de binnenkant van de blaasvormen) de kooks tegen komen waardoor deze normaal reeds zeer hete kooks met de zuurstof uit de wind zal gaan vergassen.

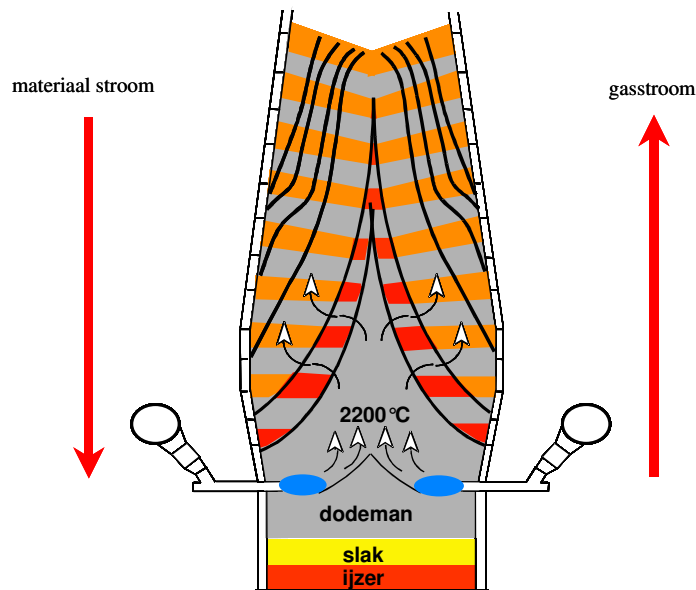
Door de hoge temperatuur en de overmaat aan koolstof zal er uit deze reactie CO ontstaan. De hoeveelheid CO is in volume het dubbele van de hoeveelheid zuurstof.

Als de wind is verrijkt tot 25% O₂ dan zal een m³ bestaan uit 750 liter N₂ en 250 liter O₂. Dit levert na vergassing (doordat O₂ + 2C → 2CO) 750 liter N₂ en 500 liter CO.

Het gas bestaat dus in dit geval na de vergassing uit 60% N₂ (inert) en voor 40% uit CO. Het volume is 25% groter en er is een zeer grote hoeveelheid energie ontstaan.

Deze reactiewarmte zit opgeborgen in het gasvolume vermenigvuldigd met de vlamtemperatuur.

De vlamtemperatuur bedraagt bij ons in IJmuiden globaal 2200°C. Dit is bijna 1,5 keer de temperatuur van het vloeibaar ruwijzer. De vlamtemperatuur heeft deze waarde omdat we er op sturen met behulp van koleninjectie (vervangt kooks) en de meer of minder grote hoeveelheid extra zuurstof. Deze extra zuurstof is sterk van invloed op de vlamtemperatuur alsook op de productiesnelheid en de topgastemperatuur.



Trekken we een theoretisch vlak, juist boven de blaasvormen, dan zien we dat door dit vlak het juist beschreven reductiegas opstijgt en zich door de daar aanwezige lading naar boven werkt. Komt dit gas uitsluitend kooks tegen dan zal de chemische samenstelling niet veranderen. Wel zal de temperatuur zakken door contact met de koudere kookslagen.

Het gas zal echter naast kooks ook ijzeroxiden tegenkomen en wel in de vorm van vaste brokken in de lagen alsook afgesmolten druppels Fe houdend FeO-slag dat uit de smeltzone over de kooksbrokken naar beneden regent. Ook hieraan wordt warmte afgestaan. Naast deze warmteoverdracht gaan nu ook chemische reacties plaatsvinden tussen het gas en vloeibare of meer vaste massa ijzeroxiden. Het CO is in principe in staat een atoom zuurstof van het FeO los te maken onder vorming van CO₂ en Fe.



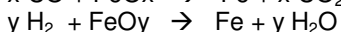
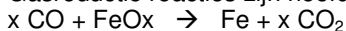
Indien dit gebeurt bij temperaturen ruim boven de 1000°C dan zal de gevormde CO₂ met C reageren tot 2 CO (solution loss). Beneden de 1050°C zal CO₂ kunnen blijven bestaan.

Waarschijnlijker is dat CO gevormd wordt doordat vloeibaar FeO over kooksbrokken afdruipt en daarbij zijn zuurstof atoom kwijtraakt aan een atoom C. ($\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$)

Bovenstaande reacties hebben met elkaar gemeen dat als eindresultaat een atoom O wordt vastgeknoopt aan een uit de vaste kooks losgeweekt atoom C.

Deze reacties staan daarom bekend als "Directe reductie" reacties. De reductie reacties die plaatsvinden uitsluitend in gasvormige toestand heten daarom "Indirecte reductie" reacties. Voor niet specialisten is dit verwarrend. Beter is daarom te spreken van directe- en gasreductie reacties.

Gasreductie reacties zijn hoofdzakelijk de twee onderstaande.



Omdat de verhouding Fe \leftrightarrow O verschillende waarden kan hebben is hier van x en y gebruik gemaakt. IJzeroxide komt in de hoogoven voor als Fe₂O₃, Fe₃O₄ (FeO + Fe₂O₃), FeO en mengsel van FeO en Fe in smelts.

De effectiviteit van het hoogovenproces wordt uitgedrukt als resultaat van de gasreductie en wel als aandeel CO₂ tot CO.

Hoe meer CO₂ tov. CO er gevormd wordt des te beter loopt het reductie proces.

Daar CO₂ ontstaat uit de gasreductie zal het duidelijk zijn dat een bijzonder goed contact tussen het gas en de te reduceren ijzeroxiden van groot belang is voor het optimaal verlopen van de reductie reacties.

De lading moet dus goed doorlaatbaar zijn en de verhouding tussen de hoeveelheid reductiegas en de hoeveelheid te reduceren ijzeroxiden moet binnen redelijke grenzen zo goed mogelijk aan elkaar gelijk zijn.

Natuurlijk moet het ijzeroxide zich ook laten reduceren. De reduceerbaarheid moet goed zijn. Echter bedenk, dat reductie in de gasfase alleen plaats vindt als het gas ter plekke kan komen. Ervaring door de jaren heen laat zien dat problemen met de bulkdoorlaatbaarheid veel eerder en veel frequenter optreden dan problemen met de reduceerbaarheid. Het best reduceerbare materiaal ligt op het ertsveld voor de agglomeraatfabrieken, maar is praktisch ondoorlaatbaar en daarmee voor een hoogoven onbruikbaar.

Ten aanzien van de doorlaatbaarheid over de doorsnede (cq straal) van de oven blijven nog wat problemen bestaan. De doorlaatbaarheid van de lagenstructuur wordt grotendeels bepaald door het aandeel fijn (< 4 mm) dat zich in een bepaalde zone ophoudt. Daar bij onze möller alleen in de sinter (en eventuele stukertsen) materiaal < 4 mm voorkomt, houdt dit in dat de sinter sterk bepalend is voor de aanvangsdoorlaatbaarheid.

Tijdens reductie van de ijzeroxiden vindt vergruizing en dus fijnvorming plaats. Bij een lage doorlaatbaarheid en daaraan gekoppeld een lage opwarmingssnelheid is dit effect het grootst. Ook hier geldt dat de gevoerde sinter op dit punt gevoeliger en extremer is dan de "homemade" Olivijn pellets. Conclusie moet dus zijn dat het zeer belangrijk is de kwaliteit van de sinter (FeO, Hosim) nauwlettend en voortschrijdend te volgen.

Het vastleggen van de effectiviteit van het hoogovenproces vindt continu plaats door het meten van de topgasanalyse. Tevens wordt bij moderne hoogovens het verloop van de gasbenutting over de straal bepaald. Hieraan kan men zien waar de volumeverhoudingen bij benadering goed liggen en waar niet.

Bedenk wel, dat het verhogen of sterk verlagen van de gashoeveelheid aan de wand niet zonder gevolgen is voor de smeltzone en het zakgedrag en daaraan gekoppeld de koelverliezen en de gasbenutting. Ofwel ga niet extreem laag met het kooksaandeel want dat ondergraaft het zakgedrag met de rest als gevolg.

De topgasanalyse geeft een redelijk beeld van de gedragingen van de oven over een wat langere termijn. De absolute waarde van de te bereiken benutting is tevens afhankelijk van de hoeveelheid H₂ die in het topgas zit en uiteraard de verblijf tijd van het gas, als ook van de C over FeO_x verhouding. Gesproken wordt normaliter over de CO efficiency ofwel ETA CO. Echter het H₂ doet net zo goed mee aan de "zuurstof afbouw" van de FeO_x.

Voorbeeld;

Heeft het topgas 6% H₂ dan is (bij η_{H₂} = 40%), 4% omgezet in H₂O. Deze 4% zuurstof had bij ontbreken van H₂ aan CO gekoppeld kunnen zijn.



In theorie; + 4% CO₂ en – 4% CO

$$\eta_{\text{CO}} \text{ was } \frac{23}{27 + 23} = 46\%, \text{ wordt } \frac{27}{27 + 23} = 54\%$$

Beter zou het zijn te spreken over topgasefficiency als zijnde

$$\frac{\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}}{\text{CO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2} = \frac{23 + 4}{27 + 23 + 6} = 48,2\%$$

omdat hiermee de concurrentie van H₂O tav CO₂ vervalt. Echter H₂O reductie is niet te bepalen vanwege andere vochtbrengers en het aannemen van een rendement is ook discutabel. Bedenk echter wel dat een hoogoven op hoog H₂ in het topgas (hoge koleninjectie) altijd een wat lagere ηCO zal tonen.

De ETA CO (ηCO) is overigens ook nog gevoelig voor de Fe ↔ O verhouding. Bij zuivere hematieten is dit 1,5 tav Fe, bij magnetieten 1,33.

Onze sinter bevat 15% FeO en dus 11,67% Fe met een 1,0 verhouding en 46,83% met 1,5 (1 : 4). De gemiddelde Fe over O is daarmee $\frac{80 \times 1,5 + 20 \times 1,0}{100} = 1,4$

Bij 50% sinter in de möller bevat de HOO möller dus 3% minder af te bouwen O atomen dan een 100% pellets möller. Dit geeft snel een nadelig effect van – 0,4 CO₂ en + 0,4 CO of wel bij 100% Fe₂O₃ krijgen we als ηCO ;

$$\frac{23,4}{23,4 + 26,6} = 46,8$$

zijnde 0,8% tav de oorspronkelijke 46,0%

Bovenstaande rekenredenering is opgezet om aan te geven dat er verklaringen zijn waarom onze ηCO soms veel lager ligt dan die bij aanpalende andere bedrijven, echter 49% ηCO moet bij 90% topvermogen redelijk haalbaar zijn.

Hogere waarde zij alleen goed mogelijk als we de “zwakste zone” verbeteren. Dit is in eerste instantie de “centrale doorgassingszone” en in tweede instantie het wandbereik.

We moeten ons daarbij wel realiseren dat de centrale doorgassing wordt nagestreefd om de gasdistributie van binnen naar buiten te laten verlopen onder voorwaarde dat de Δp binnen de perken blijft. Bij hoge producties zijn we echter snel geneigd de hartdoorgassing te uitbundig na te streven waardoor een steile smeltzone ontstaat met als onlosmakend effect dat de “wortel” van de smeltzone te laag boven de vormen komt te staan. Dit zeker in die gevallen waarbij het Si van het ruwijzer gemiddeld aan de lage kant komt. Immers het resultaat is een mix van zeer hoog Si uit de centrale zone aangemengd met (te) koud (te) laag Si houdend ruwijzer uit het wandbereik. Het is daarom ook gewenst bij hoge productieniveaus de Δp dicht tegen de toelaatbare waarde aan te zetten teneinde met een zo beperkt mogelijke hartdoorgassing te kunnen blijven draaien. De wanddoorgassing kan daarmee redelijk dicht bij het optimum blijven en de positie van de wortel van de smeltzone, gegeven de instelling, zo hoog mogelijk.

Aan het afsmoren van de hartdoorgassing zit wel een gevaar.

De vermindering van de gasstroom door het centrum van de oven zal een toename van de gashoeveelheid bewerkstelligen in het tweede gebied met een relatief hoge doorlaatbaarheid. Dit is normaal altijd de wandzone. Deze zone is zo doorlaatbaar, omdat bij afleggen van het traject van de keel naar de rust het fijne materiaal van gat tot gat valt en daarmee vrijwel verticaal wordt verplaatst terwijl de ontstane ruimte aan de wand wordt opgevuld met over elkaar glijdend relatief grofkorrelig materiaal. De massadichtheid loopt hierbij terug en de doorlaatbaarheid op. Als dit effect te groot wordt dan zal de wortel van de smeltzone in het directe wandgebied veel hoger komen te liggen dan in de zone globaal één meter uit de wand.

Bij een te sterk effect zal deze positie in de kolenzak of zelfs onderschacht komen, waardoor de bij een wegzakbeweging ontstane kieren tussen lading en wand niet meer wordt gedicht. Dit geeft aanleiding tot ontstaan en instandhouding van gasjets en koelverliezen en op den duur ontoelaatbare slijtage in de onderschacht.

Een bijkomend effect van onderdrukking van de hartdoorgassing is het oplopen van de gasdruk onder de smeltzone. Als deze druk niet wordt beheerst door een aangelegde maximale waarde, dan zal de opwaartse gasdruk het gewicht van de lading gaan compenseren. De gewichtresultante die voor het



zakken zorgt wordt dan te klein om de lading gelijkmatig te laten zakken met als gevolg dat de oven "hangerig" wordt.

Ook dit leidt tot ongewenste kiervorming in het (conische) wandbereik met gasjets en koelverliezen tot gevolg. Daarenboven zal het veel te snel afgekoelde gas niet meer aan de gasreductie deelnemen waardoor de directe reductie gaat stijgen en de oven koud zal worden.

Kortom bij een gegeven bevredigende ladinglaagjes verdeling kan de hartdoorgassing zo ingesteld worden dat de oven vrijwel tegen zijn max. Δp aanzit. Als echter het zakgedrag zijn regelmaat verliest en er sprake is van perioden met een hogere en lagere zaksnelheid dan is de grens van het toelaatbare overschreden en moet er naar een andere instelling worden gezocht.

Door bij HO 6 de max. Δp te begrenzen op 1,8 bar en bij HO 7 op 1,9 bar zijn we in staat om bij redelijk normale omstandigheden een soepel zakgedrag te handhaven. Bedacht dient te worden dat de gasdruk in de oven onder de smeltzone globaal een 0,5 bar lager ligt dan de winddruk. (plaatjes 7141-7142).

Het is deze Δp tussen onderzijde smeltzone en topdruk, die het zakgedrag bepaalt.

Onder de huidige omstandigheden (augustus 2000) is de Δp tussen windleiding (broekstuk) en onderste wanddrukmeting zelfs globaal 0,6 bar. Bij een gemiddelde Δp van 1,7 bar is de gangbare drukval over de lading ongeveer 1,1 bar (indien geen invloeden vanuit de haard optreden). Gezien de doorlaatbaarheid van de kooks mag verondersteld worden dat dit ook ongeveer de druk is die aan de smeltzijde van de verwerkingszone heerst, mogelijk 0,1 bar lager.

HO 7 heeft bij diepblazen laten zien dat de ijzerinhoud van de oven 2100 + 150 (reeds gesmolten) = 2250 ton RY is. Dit is ongeveer 60% van het working volume.

2250 ton RY vertegenwoordigt een gewicht van $2250 \times \{ 1,54 + 0,31 \} = 4163$ ton möller materiaal.

De opwaartse kracht van het gas is globaal $\{ \varnothing 14,00 \rightarrow 153,86 \text{ m}^2 \times 11 \text{ t/m}^2 \} = 1692$ gerekend vanuit de onderrust en $\varnothing 15,6 \rightarrow = 2100$ ton \uparrow force gerekend op kolenzakdiameter. Dit is ruw geschat de helft tot 40% van het op actieve kooks drukkende gewicht.

Het lading gewicht is dus altijd in staat de oven soepel te laten zakken tenzij er andere krachten ontstaan die gezamenlijk de helft van het ladinggewicht benaderen, bv. een extra Δp van 0,5 bar of een extra opwaartse kracht van 600 ton tgv. niet getapt ijzer. Echter onder normale omstandigheden zal de oven altijd gelijkmatig willen zakken.

Het wordt evenwel duidelijk anders, als de oven door oplopende weerstand veel te weinig wind aanneemt. Stel: bij 80% wind zakt de Δp over de inblaasafzakking tot $\{ 64\% \text{ van } 0,6 = \} 0,38$ en de Δp stijgt tot 1,78. De Δp_{lading} is daarmee 1,4 en de \uparrow force 2673 ton maximaal. De speling wordt kleiner maar is nog wel voldoende.

Een "zwak" punt in deze redenering is de centrale kookskolom. Deze weegt gemiddeld $0,5 \text{ t/m}^3$. Bij een kolomhoogte van 18 à 22 meter is het gewicht in evenwicht met de opwaartse krachten onder de kolom. We kunnen dus verwachten dat bij oplopende druk de centrale kookskolom instabiel wordt en bij een lichte slipsituatie uit de laagopbouw wordt geblazen, hetgeen bij HO 6 ook een aantal keren is geconstateerd.

Dat dit niet vaker optreedt komt hoogstwaarschijnlijk omdat de "tanden" van de ertslagen in de wand van de centrale kookskolom dringen en deze verankeren.

De boven geschetste situatie betekent wel, dat een oplopende druk leidend tot onregelmatig zakgedrag, deze uitstootsituatie eenvoudig kan doen ontstaan.

Wil men binnen de geschetste grenzen blijven en de oven toch optimaal benutten, dan zal men vanuit een licht overdreven centrale doorgassing moeten starten. Het is dan gewenst de hartwerking in kleine weloverwogen stappen te verminderen. Intussen wordt op de plaatjes 7141 en 7142 (de wanddrukmeting) de 45 topgasanalyse serie alsmede via de koelverliezen gevolgd of de lading nog steeds regelmatig zakt. Zo gauw er pieken in de koelverliezen optreden of de wanddrukmeting wordt onrustig laat de oven ons weten dat de grens is bereikt cq. overschreden.

Reageer via het opensturen van het hart alleen als een langdurige weerstandsopbouw daarom vraagt. Anticiperen met topinstellingen op een te volle oven of een tijdelijk matige möllerkwaliteit laat het proces wegdriften van het optimum. Reageer in deze situatie met afregelen en wel zover dat de windmachineregeling stabiel blijft.



De centrale doorgassing moet beslist niet sterk worden overdreven. Het gas dat "teveel" door het hart loopt wordt onttrokken aan de overige secties en wel voornamelijk aan het wandbereik. In de zone met een overmaat aan fijn (en dus een hoge doorstromingsweerstand) is het gasaanbod veelal toch reeds aan de krappe kant. Te overvloedige hartdoorgassing zal deze ondermaat versterken waardoor de directe reductie op deze positie zal toenemen en de wortel van de smeltzone zal gaan zakken. Onregelmatige analyses en gevaar voor blaasvormverbranding zal het resultaat zijn. Bij te extreme toepassing van de hartdoorgassing zullen er vormen in de oven worden getrokken.

Terug naar de gasreductie

Niet alleen de volumestromen en de reduceerbaarheid zijn belangrijk voor het reductieresultaat maar ook het tijd - temperatuurstraject waarin de reductiereacties kunnen plaatsvinden heeft een enorme invloed op het resultaat.

De onderste temperatuurgrens ligt globaal op 500°C, de bovenste temperatuurgrens valt samen met de temperatuur waarbij de kooksreactiviteit de solutionloss laat prevaleren, stel 1050°C. De verblijftijd in deze temperatuurband en de reactiesnelheden bepalen het resultaat dwz. de benadering van het praktisch evenwicht.

Om deze tijd te vergroten moet bij een gelijkblijvende productiesnelheid gezorgd worden dat de begin situatie snel wordt bereikt. Het topgas moet de lading snel kunnen drogen en opwarmen tot 500 à 550°C.

Topgasenergie is een restpost evenals koelverliezen; noodzakelijk maar zo laag mogelijk.

Bij een optimaal lopend proces is de topgastemperatuur gemiddeld dus laag, stel globaal 100°C.

De behoefte aan droogcapaciteit zou dus laag moeten zijn. Dit is alleen te verwezenlijken met droge of zo droog mogelijke grondstoffen.

Benatten van grondstoffen ter bestrijding van stofoverlast is misschien wel eenvoudig en goedkoop maar tegenstrijdig en sterk negatief werkend in relatie tot optimale reductieresultaten vertaald naar SRE per ton en daaraan gekoppeld productiecapaciteit.

Hierbij komt, dat metingen hebben uitgewezen, dat de lading bijzonder snel wordt opgewarmd indien reeds droog (10 tot 20°C/min), dit mede omdat de hoge benodigde droogcapaciteit feitelijk een te groot gasvolume per ton veroorzaakt. Dit verkort de tijdsperiode tussen 500 en 1050°C alhoewel de reductie overgangen en de bijbehorende temperatuurplateau's dit weer compenseren. Voorts is een snelle temperatuurooploop bevorderlijk voor het onderdrukken van de reductievergruizing.

Wenselijk is natuurlijk wel, het niveau van droog – nat te controleren. Hiertoe zijn aan de wand speciale zg. korte ladinglansen ingebouwd.

Deze meetlansen zijn ingebouwd op een niveau globaal gelijk aan 3,5 m beneden het ladingoppervlak. Dit is voor HO 6 $3,5 + 0,8 = 4,3$ meter beneden het nul niveau en voor HO 7 $3,5 + 2,3 = 5,8$ m beneden de onderkant van het verstelbaar slagpantser.

De lansen steken 0,9 m in de lading en zijn voorzien van 3 temperatuur opnemers en wel op 0,15 m, 0,5 m en 0,85 m uit de oorspronkelijke ongesleten wand. De meetpijpen zijn in paren uitgevoerd, hierdoor bestaat tevens de mogelijkheid gasanalyse bepalingen uit te voeren. Dit is in de praktijk ook zo uitgevoerd toen de punten 1 op de 4 meetlansen boven de lading vervallen werden verklaard. De 4 opengevallen posities zijn 2 x 2 aangesloten op de korte meetlansen en wel op 0,15 en 0,85 m uit de oorspronkelijke wand.

Zoals hierboven reeds gesteld is het hoofddoel van de korte meetlansen; Het bewaken van de gasreductieschacht lengte, door continu de temperatuur van de lading op 3,5 m – te meten. Speciaal in geval van opslagpellets is dit uitermate belangrijk. Opslagpellets kunnen tot 5% meer vocht bevatten dan pellets direct van de PEFA. Dit betekend per ton RY een extra vocht inzet van $800 \times 0,05 = 40$ kg Het "normale" niveau van de inzet is ongeveer 30 kg/tRY waarvan 7,0 kg via de pellets, 2,5 kg via de sinter, 20 kg via de kooks en een heel klein beetje via Bauxiet cq. stukerts.

De droogcapaciteit van de lading wordt eveneens beïnvloed door het percentage zuurstof in de wind. De korte meetlansen" zijn daarmee ook een instrument om het gewenste percentage zuurstof te trimmen.

De ervaring leert dat een temperatuurband van 300°C aan de wand tot 600°C aan het meetpunt op 0,85 m, een voor de oven gunstige temperatuur instelling weerspiegelt. Een oplopende temperatuur aan de wand is normaal geen probleem zolang de koelverliezen geen "piekgedrag" gaan vertonen. Bedacht moet wel worden dat de gemiddelde topgastemperatuur een grote invloed heeft op de gemeten "droogcapaciteit". Hiervoor geldt uiteraard ook dat deze topgastemperatuurwaarde met KI en O₂ op het gewenste niveau is te trimmen.

De invloed van het aandeel fijn op de gedragingen van de tegenstroomreactor

Bekend mag worden verondersteld dat men weet dat de weerstand oploopt bij doorgassing van steeds fijner wordend materiaal. Bestaat dit materiaal uit korrels van eenduidige vorm bv. knikkers dan blijft de relatieve vrije ruimte gelijk, alleen het aantal groeit en de afmeting per gaatje wordt kleiner en daarmee de weerstand hoger.

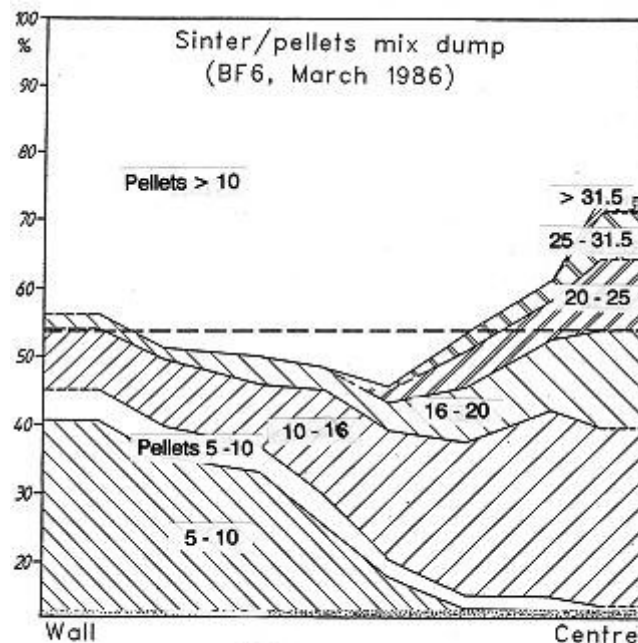
Gaan we meten aan materialen met zeer verschillende afmetingen dan ontstaat nog een tweede effect dat veel sterker door werkt en wel het vullen van de openingen tussen grove korrels door korrels met een kleiner afmeting. Hierdoor loopt het aandeel vrije ruimte sterk terug en het restant bestaat uit veel zeer kleine openingen. Een op zichzelf goed doorlaatbare stapeling kan met 20% extra fijn vrijwel gasdicht worden gemaakt.

Deze situatie kan in een hoogoven betrekkelijk snel optreden, met name bij een standaard 2 klokken beladingsysteem. Het fenomeen ontstaat door segregatie tijdens de glijbeweging en concentratie onder het gemiddelde stortpunt.

Bij materialen met een zogenaamde lange zeefband zal, bij het trekken van de grote klok, het fijn door de materiaallaag heen zakken en via het klokkoppervlak aan de binnenkant van de valbaan komen. Het fijn concentreert zich dan in de oven aan de binnenkant van het gemiddelde stortpunt. Deze stapeling zakt wel wat uiteen en naar binnen maar vertoont geen afroeffect, dit in tegenstelling tot grovere materialen. Als de ring, waarin het fijn zich overwegend opstapelt, 33 1/3% van het oppervlakte is, dan bevat deze ring bij 5% fijn in de bulk een "eigen" gehalte van 15%. Dit maakt deze laag slecht doorlaatbaar (minstens een factor "twee"). Deze "gevulde" structuur verdunnen met 50% pellets zal niet helpen omdat pellets geen "interne" doorlaatbaarheid hebben. Het in overmaat aanwezige fijn zal met de iets grovere sinterbrokjes de ruimte tussen de pellets vrijwel geheel opvullen waardoor alleen wat rand doorlaatbaarheid overblijft.

In deze "werksituatie" is het dus van levensbelang het % fijn in de sinter zo laag mogelijk te houden.

Bij de stortproeven tijdens het vullen van HO 6 in maart 1986 hebben we "harsmonsters" uit de oven gehaald en breedvoerig bemeten. Hierbij bleek dat een "schone" mix van pellets en sinter een dichtheid had van rond de 1,8 à 1,9 (sinter 1,80 à 1,85; pellets 2,0 – 2,05 ton/m³) maar dat in de zone met het meeste fijn, de dichtheid werd bepaald op 2,04 à 2,05 op een positie zo'n 0,1 à 0,2 R uit de wand. De doorlaatbaarheid in deze zone liep terug naar zo'n 60% (relatief).



Het zal duidelijk zijn, dat de met fijn gevulde lagen relatief weinig doorgassing hebben en daarom zeer traag drogen. De massadichtheid is groter, de weerstand hoger en het ingevulde fijn is ook nog de natste fractie uit de sinter. Weliswaar is onze sinter normaal relatief droog nl < 0,5% H₂O, echter bij uitschieters en in geval van opslag sinter zou de fijne "invul" fractie gemakkelijk 3 à 5% H₂O kunnen bevatten.



Bovendien moeten we bedenken dat volgens "Het principe van Watt" reeds verdampt vocht kan condenseren op naastgelegen koudere lagen, afhankelijk van de temperatuur en de optredende dampspanning. Niet uitgesloten moet worden dat deze ingevulde zones soms nog natter worden dan ze al waren.

Droog worden zal zondermeer lang duren en de afstand tot het gangbare gasreductie-evenwicht steeds groter en daarmee de groei van de directe reductie. Opletten en snel reageren door opvoeren van de droogcapaciteit is het devies. Uiteraard is goed afzeven primair belangrijk.

Een vervelende bijkomstigheid is dat bij het reductieproces gaande van Fe_2O_3 naar Fe_3O_4 een vergruizing optreedt die volgens de HOSIM test gemakkelijk kan oplopen tot 20% op testbasis. Naarmate de reductiestap langzamer verloopt zal de vergruizing toenemen. In de meest verstopte lagen zal dit effect op zijn sterkst zijn. Zolang de oven zeer soepel zakt en de onderlinge bewegingen beperkt zijn, kan het effect van deze vergruizing meevallen. Bij schokkerig zakgedrag laat het gesommeerde effect weinig te raden over. Het reeds aanwezige fijn wordt dan snel aangevuld met de door de reductie ontstane fractie.

Sterk verlagen van het gasaanbod lijkt dan de enige oplossing om te overleven.

Het streven moet dus zijn, zo weinig mogelijk fijn en zo goed mogelijk verdelen over het oppervlak.

De koelverliezen en de relatie tot de procesgang

Het hoogoven proces vindt plaats in een temperatuurgebied van 10°C boven in de oven tgv. de koude lading en een maximum van 2200°C in de raceway tgv. de kooks/kolen-vergassing voor de vormen. De wand van de oven wordt bovenin belast door langs trekkend gas en matig stralende lading. Dit systeem blijft bestaan tot dieper in de oven daar waar de verweking begint. Ook hier vindt warmteoverdracht voornamelijk plaats via langs trekkend gas en flink toegenomen straling vanuit de lading. In het nog lager gelegen gebied komt hier nog bij, de warmte die overgedragen wordt door langsvloeiend al dan niet met elkaar gemengd slak en ijzer.

In hoeverre de warmteoverdracht naar de wand leidt tot hoge fluxen is afhankelijk van de opbouw van het wandsysteem en het ontstaan van kieren tussen bewegende lading en het wandsysteem. In een nieuwe nog maar beperkt uitgesleten wand zal op deze wand nog nauwelijks een tussenlaag zijn ontstaan. Deze tussenlaag, proceshuid genoemd, vindt nauwelijks een mogelijkheid tot verankering en zal dus regelmatig afbrokkelen en verdwijnen. De gasstroom en de straling zit dan direct op de stenen en de koelers en de fluxen zullen dus relatief hoog zijn.

Bij een meer uitgesleten hoogoven steken de koelplaatneuzen voldoende door de bekleding in de ruimte van de bewegende lading. Bij een juist gevoerde procesgang ontstaat dan de mogelijkheid tot aanvriezen en verankeren van een tussenlaag die relatief dun is, naar schatting 5 à 8 cm en die over de neuzen van de koelplaten loopt in een gebied vanaf de bovenrust tot ongeveer halweg de schacht; de proceshuid.

Bij voldoende stabiel zijn van deze proceshuid zal de overgebleven ruimte tussen de binnenkant van de proceshuid en de Hot Face van de vv stenen zich opvullen met stof, fijn poederachtig materiaal dat goed is te doorboren en bij analyse blijkt te bestaan uit 50% koolstof, 1/3 pyrofoor Fe en de rest slakbestanddelen.

De proceshuid zelf is hard en ook nauwelijks te stuk te stoten en is daarmee in staat het systeem sterkte te geven.

Bij aanwezigheid van deze proceshuid zal de invloed van een gematigde gasstroom en de straling vanuit de lading gesmoord worden in het stof waardoor de fluxen laag blijven.

Het is een systeem wat onder de huidige omstandigheden bij gematigd middelgángig sturen, zeer goed in stand te houden is. Het levert relatief zeer lage koelverliezen. In de onderschacht en in de kolenzak, ons oude probleemgebied, zijn de koelverliezen vaak nauwelijks te meten.

Voorwaarde voor instandhouding is wel dat de gasstroom langs de wand beperkt blijft. Te hoge gasstroomsnelheden kraken de proceshuid waardoor het stof wordt weggeblazen en de invloed van de gassen en de straling weer rechtstreeks op de wand worden uitgeoefend.

Regelmatig zakgedrag is de primaire voorwaarde voor de instandhouding van dit systeem.

Daar de proceshuid hoogstwaarschijnlijk bestaat uit gedeeltelijk gereduceerde ijzeroxide, eventueel ingevuld met kringloopstoffen, lijkt het duidelijk dat daar waar de temperaturen relatief laag blijven, deze situatie niet zal ontstaan. We zien in de bovenschacht, waar de lading granulair is, dan ook altijd koelverliezen, gelukkig van relatief laag niveau.

In de rust schraapt de meer of minder vertande smeltzone langs de wand en schuurt de kooks eveneens de wand omdat de kleinere wordende diameter voor een goed contact zorgt. Ook hier zijn altijd relatief beperkte koelverliezen aanwezig, overigens vnl. dankzij de vloeibare slak.



Als het proces zo gestuurd wordt dat de proceshuid zich moeilijk kan handhaven dan zullen op de koelverlies meting piekvormige belastingen te zien zijn. Het is dan zaak de doorgassing zo te trimmen dat voorkomen wordt dat de gehele proceshuid verdwijnt. Als de situatie ontstaat tgv een ondermaat aan hartdoorgassing (hoge η_{CO} op punten 2) dan kan het hart wat verder worden opengestuurd. Als de grondstoffen of een eventueel te hoge haardvulling hiervoor verantwoordelijk zijn, is het zaak het productievolume terug te nemen. Beide laatste oorzaken vertalen zich naar een moeilijk te beheersen zakgedrag dat aanleiding geeft tot kiervorming tussen de proceshuid en de lading. Dit heeft erosie van de proceshuid en kaalslag als gevolg. Wederom opbouwen van verdwenen proceshuid lukt alleen tijdens zeer goed zakgedrag. Het proces dus in die richting sturen.

Koelverliezen zijn te vergelijken met koorts. Je kunt wel proberen de koorts te onderdrukken maar als je de patiënt niet echt geneest blijft de bron bestaan en ligt herhaling voor de hand. Bij te hoge koelverliezen deugt het proces niet en zal via aanpassingen in het proces een situatie moeten worden geschapen die tot een soepeler zakgedrag leidt met als het even kan een lagere Δp . Onderdrukken van koelverliezen leidt uiteindelijk tot een verbeterd SRE. In de omkeerfase echter moet de η_{CO} in het centrum van de oven goed worden gevolgd omdat bij reeds open gestuurd hart en nog niet verdwenen koelverliezen er eenvoudig een SRE te kort kan ontstaan. Overigens zullen de koelverliezen via de vormen wel altijd duidelijk aanwezig zijn. Enige isolatie in het windkanaal via SiC inserts helpt wel wat, maar flink koelen aan de buitenconus lijkt blijvend gewenst om de vormen te beschermen.

De bulkdoorgassing

Als we de grondstoffen die we in een hoogoven laden afzonderlijk onderzoeken op specifieke gasdoorlaatbaarheid, dan blijkt de weerstand tegen doorgassing van lagen sinter resp. pellets zo'n 3 à 4 maal hoger te zijn dan de specifieke weerstandswaarde van kooks.

Hierbij dient bedacht te worden dat dit soort metingen altijd worden uitgevoerd op goed, op een bepaalde maat, afgezeefd materiaal en dat opeenhoping van fijn dan wel toename van fijn door transportvergruizing niet in beschouwing wordt genomen. Hieruit volgt dat de verschillen in de praktische situaties in de hoogoven alleen verder zullen toenemen.

Het zal duidelijk zijn uit het bovenstaande dat de in de hoogoven opgebouwde formatie van ertslagen (gerekend vanaf vulniveau tot en met de binnenzijde van de smeltzone) bepalend zal zijn voor de weerstandsofbouw in de oven en dat hierbij de weerstand van de tussenliggende kookslagen van secundaire invloed is.

Om deze redenen is het ovenproces gebaat bij een relatief constante ertslaagdikte en reproduceerbare laagopbouw. Als het gewenste optimum eenmaal is gevonden, dan kan dit worden vastgehouden.

Echter, gaat om welke reden dan ook het kooksverbruik per ton sterk variëren, dan zal men in deze situatie het kooks gewicht moeten aanpassen bij gelijk ertsgewicht en niet andersom zoals dat vroeger (tot 1989) het geval was.

Deze situaties doen zich frequent voor bij een wisselende hoeveelheid externe energie-input in de vorm van bv. olie-injectie, koleninjectie, aardgasinjectie of teerinjectie.

Deze kooksvervangende reductiemiddelen beïnvloeden het kooksgewicht per dump en daarmee ook direct de kookslaagdikte. Door de ertslagen constant te houden is de invloed op de weerstandvormende lagen beperkt en daarmee ook de invloed op het doorgassingsprofiel.

Deze filosofie is in 1988/89 vormgegeven door radicaal om te gaan van de tot dan toe gevoerde "constante kookslaagdikte" praktijk naar de huidige situatie met een tamelijk "constante ertslaagsdikte". Dat de ertslagen niet "absoluut" constant zijn heeft een tweede duidelijk aanwijsbare reden en wel de volgende:

Bij de huidige besturingsfilosofie wordt gestuurd op een gewenste hoeveelheid "hartdoorgassing". Om dit te bereiken wordt een centrale kookskolom gecreëerd waarvan de diameter sterk wordt

bepaald door de mate waarin het materiaal van de ertsdump doorloopt naar het midden van de oven. Dit verschijnsel is sterk afhankelijk van de theoretische laagdikte en specifieke "erts" kenmerken als soort, zeefanalyse en bv. vochtigheid. De effecten van de laatste invloeden moeten soms weggecorrigeerd worden via een aanpassing van de laagdikte als aanpassingen via topprogramma's dan wel slagpantser-instellingen buiten de normale werkband (ervaringsband) dreigen te vallen. Een andere invloed is bijvoorbeeld het aandeel "kleintje kooks". Dit materiaal heeft het 3-voudige volume per gewichtseenheid te opzichte van de andere ertsmaterialen. Sterke aanpassingen in kleintje kooks beïnvloeden het "dumpvolume" en daarmee het doorlopen van de stort naar het midden. Een stevige "kleintje kooks" aanpassing betekent feitelijk een laagdiktecorrectie.



Hoe dan ook, de theoretische ertslaagdikte blijft binnen een redelijk smalle band constant onder voorwaarde dat in het hart van de oven een schone kookskolom wordt gecreëerd. Deze heeft als hoofddoel de transportweg te vormen voor het gas, dat vanaf de raceway via de actieve kookzone overwegend door deze kooksschoorsteen opstijgt en deels aftakt bij iedere laag kooks die wordt gepasseerd. Het gas gaat dus niet als propflow verticaal door de oven maar vanuit het midden, redelijk horizontaal naar buiten om vervolgens op basis van geringe Δp verschillen door de bovenliggende ertslagen op te stijgen onder gelijktijdige opwarming en reductie van de bestanddelen van deze lagen. Hieruit wordt meteen duidelijk dat een kier ontstaan aan de wand een zeer gemakkelijke weg vormt om de ertslagen heen te gaan. De warmteinhoud van het reductiegas wordt dan deels overgedragen aan het koelsysteem en de gewenste reductie vindt nauwelijks plaats. Wel veel CO aanwezig maar geen resultaat.

Bovenstaande redenering maakt twee dingen uitermate duidelijk

- het door de centrale kookskolom opstromend productiegas moet sterk overwegend naar de kookslagen aftakken. De stromingsweerstand van de kooksschoorsteen in de bovenste lagen mag dus niet te gering zijn.
- voorkomen moet worden dat langs de wand ruimte ontstaat, waardoor de kookslagen om de ertslagen heen worden doorverbonden.

De ervaring leert dat a) en b) elkaar zeer sterk beïnvloeden.

Is de weerstand in het centrum te hoog dan wordt teveel gas door het uiterste wandbereik geperst. De proceshuid wordt instabiel en/of verdwijnt en het gas loopt door de ruimte tussen de koelplaatneuzen van kookslaag naar kookslaag en koelt te sterk af om chemisch iets te kunnen presteren. Als gevolg hiervan zakt de wortel van de smeltzone (op een zekere afstand uit de wand) naar een te laag niveau boven de vormen en het zakgedrag wordt instabiel, waardoor de situatie verergert.

Omgekeerd geeft te weinig weerstand in het centrum te weinig gas aan de wand. De wortel van de smeltzone zakt dan direct aan de wand te ver door en eindigt vlak boven de vormen. Dit resulteert met zekerheid in een hoog SRE verbruik en bij instabiel bedrijven van de hoogoven ook tot vormschade. Het vinden en behouden van het optimum tussen hartdoorgassing en wandafdichting is dus een voortdurende worsteling die zeer regelmatig wordt beïnvloed door wijzigingen in de möllerkwaliteit. Met name de fluctuaties in het aandeel te fijn en de concentratie daarvan, in de buurt van, maar niet voldoende aan de wand spelen hierbij samen met het reductievergruizingsniveau een belangrijke rol.

Een praktijk voorbeeld rond de laagdikte van HO 7.

In de nu (4^e kwartaal 2000) gangbare omstandigheden met een kooksverbruik van 305 kg/ton RIJ, totaal bestaande uit 265 kg grove en 40 kg kleine kooks, is de kooksdump 15,0 ton, dus 30 m³.

In een keeldiameter groot 10 m \varnothing op vulniveau resulteert dit in een theoretische kookslaagdikte van 38,2 cm. Gaan we ervan uit dat de "ring" in de kolenzak 2x dit keeloppervlak bedraagt, dan ligt hier de theoretische laagdikte op 19,1 cm. In het centrum (5% van het oppervlak) is alleen kooks aanwezig, dus tussen de ertslagen zit 95% van de kooks. Dit levert $0,95 \times 0,5 \times 38,2 = 18,1$ cm kookslaagdikte, althans berekend als schijfdikte. Het is zeer waarschijnlijk (zie lagenmodel R. Godijn) dat aan de wand 20 cm wordt gehaald en 1 m uit de wand de 12 cm laagdikte niet wordt overschreden. Alhoewel de praktijk bewijst dat een hoogoven in deze situatie goed kan worden bedreven, zal duidelijk zijn dat een sterke verstoring van het zakgedrag snel kan leiden tot mengselvorming, o.a. door afschuiving van de lagen onderling. Hierdoor ontstaat een niet te beheersen toename van de doorstromingsweerstand. Het "bijmaken" van een oven om de ongewenste drukopbouw en hakerig zakgedrag te onderdrukken zal daarom meestal een averechts effect opleveren. Afregelen naar een waarde waarbij normaal zakgedrag wordt hersteld en vanuit die situatie langzaam terug naar de oorspronkelijke bekende

situatie ligt meer in de lijn naar succes. Een kreupel paard met de zweep over de baan jagen zal nimmer een winnaar opleveren.

De manier om tot het gewenste doorgassingsprofiel te komen.

Voordat gegrepen wordt naar middelen die de bestaande situatie gaan veranderen, moet uiteraard eerst een analyse gemaakt worden van de bestaande situatie en deze moet worden gespiegeld aan de theoretisch gewenste situatie.

Ook moet men zich afvragen wat de mogelijke oorzaak van het afdwalen van het optimum kan zijn geweest. Dit lijkt een "open deur" maar helaas leert de ervaring dat open deuren nog veel te vaak ingetrapt worden op basis van gevoel zonder dat voldoende is beredeneerd hoe en waarom een situatie is ontstaan.



De bulkdoorgassing wordt principieel aangestuurd middels de laagopbouw en de hierdoor ontstane kookskern met vertakkingen. Als de oven zich niet naar wens gedraagt dan zullen de metingen van gasanalyse, koelverliezen, droogcapaciteit en toptemperatuur meestal aangeven dat het doorgassingspatroon zich al dan niet heeft gewijzigd. Heeft de wijziging waarneembaar plaatsgevonden en is hij te verklaren doordat de gevolgen met elkaar in overeenstemming zijn dan heeft het zin om middels slagpantsergebruik dan wel topprogramma verandering naar de oude, meer gewenste situatie terug te keren.

Als voorbeeld kennen we een te hoge (centrale) toptemperatuur gecombineerd met een doodvallende droogcapaciteit en zeer zwakke benutting in de centrale zone. Het afsmoren van de centrale gasstroom lijkt hier van toepassing opdat het te veel aan gas door het hart meer door de rest van de lading wordt gestuurd.

Als echter hoge temperaturen in het hart worden gemeten bij redelijke benutting en een goede droogcapaciteit, dan heeft het geen zin om de laagopbouw te veranderen, maar ligt het voor de hand de hoeveelheid schachtgas per ton RIJ aan te passen.

Moeilijker wordt het als de reductiekwaliteit van de grondstoffen onder verdenking staat. Meestal is dit alleen het geval bij onze sinter omdat dit product door de aard van het materiaal en de wijze waarop het gemaakt wordt nogal gevoelig is voor diverse vaak moeilijk te beheersen invloeden, oa. brieskwaliteit, menghoopopbouw en verwerking kop en staart, inzet van opslag etc. Als de sinter dus kwalitatief buiten de norm stelling valt en daardoor bv. te veel vergruist, kan ook dit eenvoudig leiden tot hoge drukopbouw, onrustig zakgedrag en stijgende koelverliezen. Hierop anticiperen door het hart verder open te sturen zal een ongewenst effect opleveren. Afregelen naar een werkbaar windvolume om de situatie te boven te komen zal een snelle terugkeer naar de oude gewenste situatie mogelijk maken.

Verandering van de laagjesopbouw zal bij verdwijnen van de bronoorzaak een nieuwe, vaak minder gewenste situatie opleveren die daarna weer moet worden hersteld. Dus eerst goed analyseren wat er aan de hand kan zijn en alleen bij een duidelijk beeld een ingreep plegen via de laagopbouw in de bovenoven.

Bij hoogoven 6 gebeurt dit vrijwel altijd door het laten fluctueren van het aantal kooksrondjes in het centrale bereik van de oven. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de topprogramma's 3 t/m 6 die in deze richting het kooksaandeel in het hart laten dalen. Een combinatie van bv. 4 en 5 of 5 en 6 is ook gebruikelijk. Topprogramma 4 geeft een dikke centrale kookskolom, gaande naar 6 wordt de centrale kookskolom steeds dunner.

De ertsprogramma's 7, en 8 + 9 variëren zelden, alleen als de sturing met de kooks via 3 t/m 6 wat eenzijdig ligt kan worden overwogen de ertsdump wat meer of minder door te sturen naar de centerlijn. Gestart kan worden via de gesplitste dump 8 + 9.

Bij de besturing van hoogoven 7 ligt de situatie wat gecompliceerder. Dat wat in het hart moet worden bereikt is altijd het resultaat van de sturing met het slagpantser in het wandbereik en de eventueel aan te leggen laagdikte.

Nu komen er hier een paar praktische beperkingen naar boven drijven.

- HO 7 kan alleen topproducties draaien op een 2 bakken schema van het type KK/MM/ repeterend. De reden is dat voor een goede afzeving van de grondstoffen mede de tijd gebruikt wordt waarin de andere soort wordt gereden.
- De hellende lift kan nauwelijks sneller dan de huidige speed 5 omdat dan de top niet tijdig gereed is.
- Een 2 bakken schema is het schema met het laagste aantal kleine klok openingen per eenheid van ruwijzerproductie.
- De inhoud van de skips en de inhoud van de kleine kloktrechter zijn bij 90 ton erts + kleine kooks vrijwel aan het praktisch maximum van 25 m³ per skip
In de huidige praktijk gaat het skip overlopen bij een möllergewicht van 360 ton verdeeld over 8 bakken, waarbij de eerste bak veelal voller is dan de tweede.

Het resultaat in de oven is een laagdikte van 60 à 62 cm berekend op 10 m Ø. Dit is soms ruim voldoende om zodanig door te lopen naar het hart dat dit wordt afgesmoord. Soms echter moet het erts bewust wat meer naar de centerlijn worden doorgestuurd. Een bijkomend probleem bij HO 7 is, dat de optredende fluidisatie bij hoge volumina in de bovenschicht bovenmatig toeneemt waardoor er in die gevallen extra erts naar het centrum moet worden gestuurd.

Dit was in het verleden zelden het geval. Toentertijd stonden de ertsdumps altijd op de positie – 6 zijnde maximaal naar buiten. Rond 1996 – 1997 werden we gedwongen één of meerdere ertsdumps binnen de kooksdumps te brengen. Vorig jaar, dwz. 1999, is besloten deze situatie permanent aan te



leggen omdat deze verspringsing een betere verdeling van het ultrafijn (niet afgezeefd retour) geeft en omdat er ook adequater gereageerd kan worden op de veelvuldig optredende enorme gasdebiet veranderingen met als gevolg daarvan een sterke tot volledig onderdrukte fluidisatie van de kooks in het hart van de oven.



Corus Strip Products IJmuiden
Manufacturing Hoogovens

Het Hoogovenproces

Hoofdstuk : 07 bijlagen

Revisienummer : 01

Datum uitgifte : 12-2001

Bladzijde : 12 van 7



Bijlage 2

Het slagpantser van HO 7: consequentie voor de procesvoering

De historie

Hoogoven 7 is vanaf zijn begin, november 1972, uitgevoerd geweest met het huidige verstelbare slagpantser, fabriek GHH.

Helaas waren de dimensies wat merkwaardig geëxtrapoleerd, daarbij uitgaande van de slagpantersystemen van HO 4, 5 en 6.

In de besturing was oorspronkelijk slechts plaats voor zes posities en daarmee voor slechts vijf verstellingen. Vijf verstellingen die ook 300 mm groot waren, berekend op de onderkant van de slaglijsten.

Na beschikbaar komen van een multipositie liniaal zijn de slagpantserverstellingen naar eenheden van 50 mm gebracht. Hierna zijn ook de andere ovens op 50 mm stapgrootte gezet.

Als de slaglijsten verticaal hangen, is de diameter van de binnenkant van de buitenste lijsten globaal \varnothing 8,5 m. Dit is de grote klok diameter + 1 meter aan iedere kant, stand genoemd 0.

De onderkant van de slaglijsten kan 300 mm naar buiten worden getrokken \varnothing 9,1 m. (dit is niet de diameter van de inslagpunten in de oven, deze is variabel en afhankelijk van diverse componenten).

De positie wordt -6 genoemd, zijnde 6 x 50 mm naar buiten tov. de verticale positie. Verder kan het slagpantser nog naar binnen worden bewogen tot totaal 18 stappen van 50 mm. Hiervan zijn er 8 geprogrammeerd en wel +1 t/m +8 en wordt de positie +9 gebruikt om het slagpantser in de meest naar binnen gelegen positie te brengen, zie bijgaande tekening.

Sinds de introductie van de centraal gaande processturing van HO 7 (anno 1989), is het niet meer noodzakelijk gebleken, het slagpantser verder naar binnen te sturen dan de +2 positie, zijnde \varnothing 8,3 m op de onderkant van de platen.

Opgemerkt dient te worden dat met het centraalgaand proces de erts laagdikte vrijwel constant is gehouden en mede daardoor ook het vulschema dat vanaf die tijd ongewijzigd KK_a/EE_b repeterend is geweest, waarbij a vrij gekozen werd tussen -3 en +2 en b vrijwel altijd op de -6 positie werd gehouden.

Als de gewenste doorgassing niet was te bereiken binnen deze beperkingen werd meestal een laagdikte wijziging toegepast.

Dit is jarenlang goed gegaan totdat eind 1997 bleek dat de kookposities zowel als de ertsposties alle op -6 stonden en er bij maximale laagdikte toch een relatief te grote centrale kookskolom ontstond.

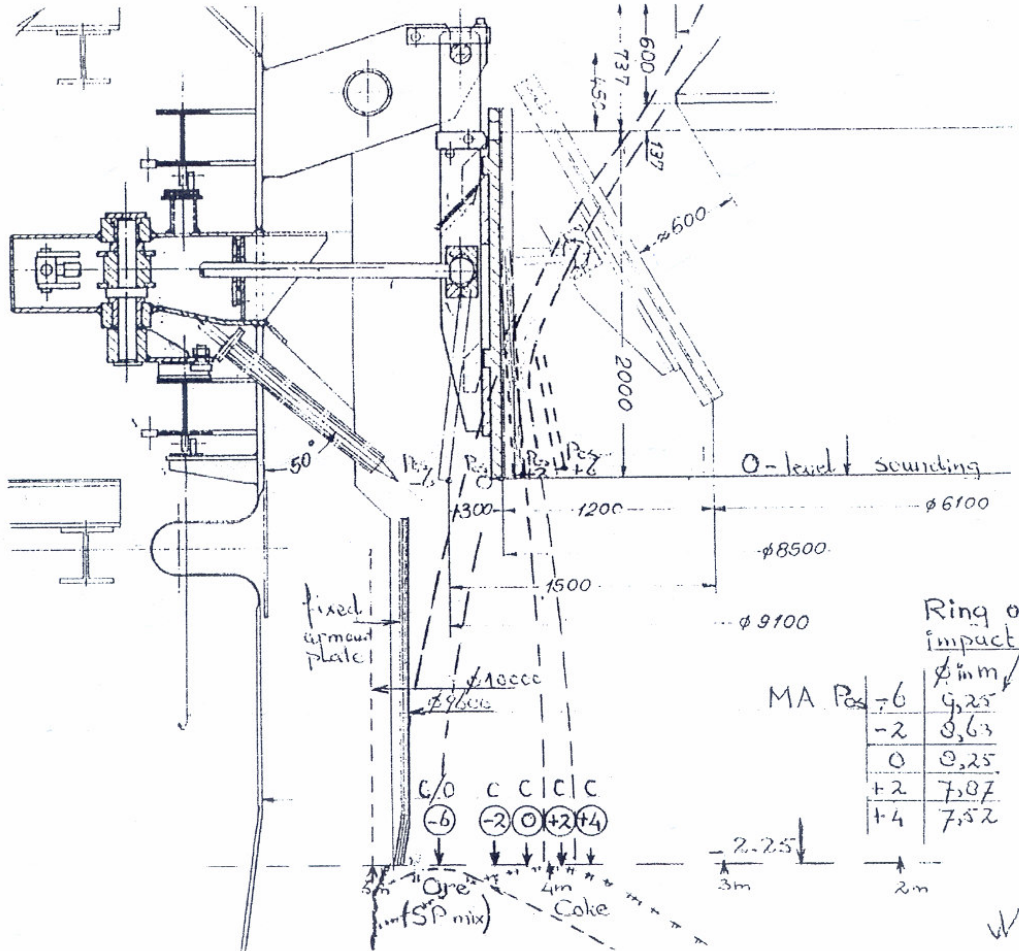
Dit was grotendeels het gevolg van het toepassen van flinke hoeveelheden kleintje kooks (tot 60 kg/try droog) waarbij de gevraagde gewichten de volumina te groot werden en de bakken overliepen, anderzijds ook het gevolg van het steeds kleiner worden van het aandeel sinter >25 mm. Deze fractie nl rolt voor een groot deel af naar het centrum van de oven.

Besloten werd het proceshart bewust dicht te drukken door een van de ertsdumps binnen de kooks te trekken (positie +1).

Na verloop van tijd is deze manier van werken weer los gelaten en werkte men weer met de vanouds bekende methodiek, totdat redelijk recent, september 2000, de gesplitste ertsdump weer is ingevoerd. De hoofdreden van de herinvoering lag weer in een af en toe te groot centraal kookkanaal maar tevens had ik me bedacht dat het beter spreiden van fijn wel eens een voordeel kon zijn.

Slagpantersystemen in combinatie met een grote klok hebben de eigenschap het fijn geconcentreerd aan de binnenzijde van de valbaan neer te leggen en daar een ring te creëren met een bijzonder slechte doorlaatbaarheid. Het "opsplitsen" van het fijnaandeel zou wel eens positief kunnen werken op de doorgassing in het wandbereik. Dit is ook inderdaad het geval, voornamelijk in de vorm van verlaging en stabilisering van de koelverliezen, die zeker de laatste maanden aantrekkelijk laag zijn, mede als gevolg van een wat grote kookovermaat in het wandbereik. Deze situatie is echter goed te optimaliseren als je het "goede geloof" hebt en de overtuiging bezit.

Duidelijk is dat met een sturing waarbij één of meer ertsdumps binnen de kooks worden gelegd, een enorme flexibiliteit ontstaat. Aan de hand van meetresultaten zal snel duidelijk worden waar de begrenzings liggen. Bedenk dat een lage benutting beter is dan hoge koelverliezen.





De beladingsfilosofie van en voor een hoogoven uitgevoerd met een verstelbaar slagpantser.

- 1^{ste} De bedoeling van de besturing is een werkpunt te vinden waarbij gegeven de gevraagde productie, de doorgassing zodanig wordt beïnvloed dat de koelverliezen laag blijven bij een aanvaardbaar niveau van de totale gasbenutting.
Een lage benutting zal ongetwijfeld een te hoog (optisch) SRE opleveren echter bedenk dat deze situatie vrijwel alleen extra KI en O₂ vraagt waarbij een omvangrijk deel van de kosten wordt teruggewonnen via verkoop van het geproduceerde gas.
Koelverliezen daarentegen kosten dubbel geld. Eerst vanwege het totale energieverlies en vervolgens via een ongewenste toename van de "wandslijtage" die op de lange duur veel kosten kan opleveren.
Ergo, laat bij een situatie waarbij gekozen moet worden tussen bovengenoemde situaties, altijd de laag koelverlies situatie prevaleren.
- 2^e De koelverliezen kunnen alleen goed gestuurd worden bij voldoende groot kooksaandeel in het wandbereik. De ervaring leert dat dit globaal tussen de 40 – 60 en de 50 – 50% situatie ligt met gemiddeld een iets groter volumeaandeel aan erts tov. kooks.
Te hoge koelverliezen kunnen niet alleen ontstaan door te weinig erts aan de wand maar evenzo makkelijk door te veel erts aan de wand. Het grote verschil is dat de laatste situatie eindigt in onrustig zakgedrag en fluctuerende resultaten met weinig "droog" capaciteit (rest warmte energie in topgas) terwijl de eerste, laag erts aandeel, situatie een goede droogcapaciteit laat zien echter met een zwakke benutting in de wandzone.
De situatie is wel veel stabiel en daarmee veel makkelijker te repareren.
Bedenk dat ongewenste koelverliesniveau's nooit simpel kunnen worden voorkomen door verhoging van het erts aandeel aan de wand. Het resultaat is altijd een optimaal samenspel van hartdoorgassing – wanddoorgassing, laagdikte en K / E verhouding in het wandbereik.
- 3^e De doorgassing in het centrum, dwz. de instandhouding van de afmeting van de centrale kookskolom, kan worden gestuurd met zowel de slagpantserstanden tijdens de kooksdumps als door instellingsverandering van de ertsdumps.
Het lijkt een open deur, maar steeds moet bedacht worden dat de som van kooks- en erts aandeel aan de wand 100% is. Dit betekent in de praktijk dat de ruimte ingenomen door de ene soort, wordt onttrokken aan de andere soort. Dit kan bij grote verstellingen aan het slagpantser, zeer snel tot enorme veranderingen in kooks / ertsverhoudingen leiden.
Als alle erts tegen de wand wordt gedumpt en de oven zou een strak afhellende taludhoek vertonen, dan zal de invloed van de kooksdump kwadratisch toenemen met de afstand van de wand tot de top van de kookslaag. Dit geldt uiteraard ook voor de ertsdump.
De hoeveelheid kooks (zijnde niet erts) aan de wand wordt zeer rap groter als de ertsdump een aflopend talud naar de wand krijgt.
Bovenstaande redenering impliceert dat het optimale werkgebied slechts een beperkte verstelling van het slagpantser toelaat.
Als binnen deze begrenzings voor de verdeling aan de wand niet het optimale resultaat voor de hartsturing wordt gevonden, dan zal vervolgens de laagdikte moeten worden aangepast.
Hiervoor geldt een eenvoudige stelregel. Hoe dikker de laag, hoe meer erts naar het centrum.
Hoe dunner de laag, hoe groter het kookshart in het centrum van de oven.
Bij sterk fluctuaties in het erts aandeel in het centrum, zal van beide bovengenoemde stuurmethodieken gebruik moeten worden gemaakt.
Dit is speciaal bij een klokgestuurde beladingsverdeling vaak nodig omdat de K / E verdeling in het hart niet dwingend aangebracht kan worden, maar het gevolg is van afrollen en afschuiven van grof materiaal. Hierdoor is in het centrum veelal zeer grove kooks aanwezig, waarbij de "dragforces" van het zeer snel opstijgende gas boven een gegeven gasdebiet fluidisatie bewerkstelligen waardoor extra "hartdoorlaatbaarheid" ontstaat.
Als rond dit fluidisatie volume, wind en zuurstof aanpassingen plaatsvinden, zal daar zeer frequent op moeten worden gereageerd met verstelling van de slagpantserposities.

Dit betekent in het geval van onze HO 7 dat iedere productieniveau-verandering zijn eigen slagpantserverandering met zich meebrengt en dit zeker in de gevallen dat naar de flexsituaties wordt gegaan en omgekeerd.
Dat dit veelal zonder al te veel problemen lukt komt dankzij het uitgebreide (gas-) meetinstrumentarium waardoor snel en duidelijk de verandering wordt waargenomen en de reactie binnen de kritische tijd kan plaatsvinden.



Terugkomend op het gestelde in punt 3 nl de kwadratische invloed van de grootte van de stortpuntverplaatsing als gevolg van de slagpantser positieverstelling, kan worden gesteld dat deze invloed sterk kan worden onderdrukt als de ertsdumpen ten dele van de wand af worden gehaald. In dit geval zal het somresultaat van een seriedumps een plateau met een langzaam veranderend K/E verhouding laten zien in plaats van het kwadratisch effect van de veranderende driehoek. Dit is o.a. de reden waarom we tegenwoordig, dwz. vanaf 1997 op bovenstaande wijze sturen. Hierbij staan twee of drie van de vier ertsdumps maximaal naar de wand en de andere vanaf de wand tot maximaal verticaal (positie 0). Dit geeft in de praktijk een inslagring met een binnendiameter van 9,25 m ingeval van -6 en bij positie 0 een binnenringdiameter van globaal 8,25m. De kooks wordt daar tussen gestort. De precieze standen (-1 t / m -5) zijn van minder grote betekenis omdat kooks bij storten in de oven een groot spreidingsgebied heeft. Het zal het plateau vullen en onder zijn eigen storthoek eindigen nadat het over de ertskam is gelopen. Hierbij zal de fijnere kooks overwegend in het wandbereik blijven en de halve straal niet passeren. Het grof eindigt in het centrum van de oven.

De invloed van de ladinghoogte op de lagenopbouw in de oven.

De laagopbouw in de oven is grotendeels het gevolg van de "natuurlijke" storthoeken van de diverse materialen, maar onmiskenbaar ook sterk het gevolg van de hoek en de snelheid waarmee de valbaan het "stortpunt" raakt.

Als we de gedragingen van de bovenlaag van de opbouwende totale laagdikte bekijken dan zien we vaak dat de zich vormende laag een storthoek aanneemt die groter is dan zijn eigen glijhoek, om vervolgens af te schuiven naar een vlakke hoek en zich daarna weer een steile hoek aanmeet. Dit soort lawineeffecten is ook materiaalafhankelijk en het grootst bij grof materiaal als bv kooks en ook sterk bij materialen met een grote interne wrijving bv een slecht afgezeefd vochtig stukerts.

Het zal duidelijk zijn dat de omvang van dit soort lawineachtig doorschuiven mede wordt beïnvloed door de impuls van de valbaan en de richting van de valparabool.

Bij niet door het slagpantser gereflecteerd materiaal zal de valbaan licht naar buiten gericht zijn en de impuls tegengesteld aan de afglijrichting. De valbaan staat min of meer loodrecht op het talud en de impuls zal in botsing verloren gaan.

Wordt het materiaal in de valbaan van richting omgekeerd dan werkt een deel van de impuls versterkend op het afglijden en doorzetten naar het midden van de oven. Materiaal dat op verticale of + standen van het slagpantser in de oven wordt getrokken krijgt dus een zetje mee. Vooral grove kooks profiteert hiervan en sterker naarmate de impuls energie groter wordt.

Nu wordt de snelheid van neerkomen overwegend bepaald door de totale valhoogte globaal gerekend vanaf de bovenzijde grote klok t/m het inslagpunt aan de wand in de oven.

Nemen we voor de "valhoogte" op de grote klok tot aan de slagpantserplaten onderzijde 4 m (2 x 2m), dan valt het materiaal globaal nog 2 m dieper in de oven.

Laten we ovenpeil zakken van 2,3 naar 2,8 m ladingniveau dan komt hier nog een halve meter bij. Dit is dan een 0,5 m op een totaal van 6 à 6,5 m. De valenergie (G x H) wordt hiermee 8% groter en het materiaal, dat naar binnengericht wordt gestort zal meer doorzetten naar het centrum.

Het effect is echter beperkt bij afwezigheid van grof materiaal. De ervaring heeft bovendien geleerd dat de resultaten niet erg reproduceerbaar zijn. Om deze reden hebben we besloten de vulhoogte vast en redelijk hoog te kiezen, zoveel mogelijk binnen de onderkant van het vaste slaghemd.

Het niet reproduceerbaar zijn van de vulhoogte-invloeden is een gevolg van het vaste slaghemd. de sprong in diameter tussen onderzijde slaghemd en vuurvaste wand is veel te groot en ligt qua hoogte erg ongelukkig tov. het normale peil.

Er is een tweede mogelijk veel zwaarder doortellende invloed van de valhoogte op de laagopbouw en wel het storten van de lagen geheel binnen, globaal half om half en geheel onder het vaste slaghemd. Dit vaste slaghemd is nl. niet zo optimaal in de keel van de oven opgehangen.

De platen hangen voor een optimale situatie te veel uit de wand en dus op een te kleine diameter. Weliswaar is de wandlijn met stenen relatief sluitend aangeheeld, maar de slag- en slijtkrachten van het vallende materiaal slijpen de platen geheel door en eroderen de wandstenen onder de platen weg waardoor er een stapsgewijze diameter verstelling ontstaat, die na de slaghemd wisseling is blijven bestaan.

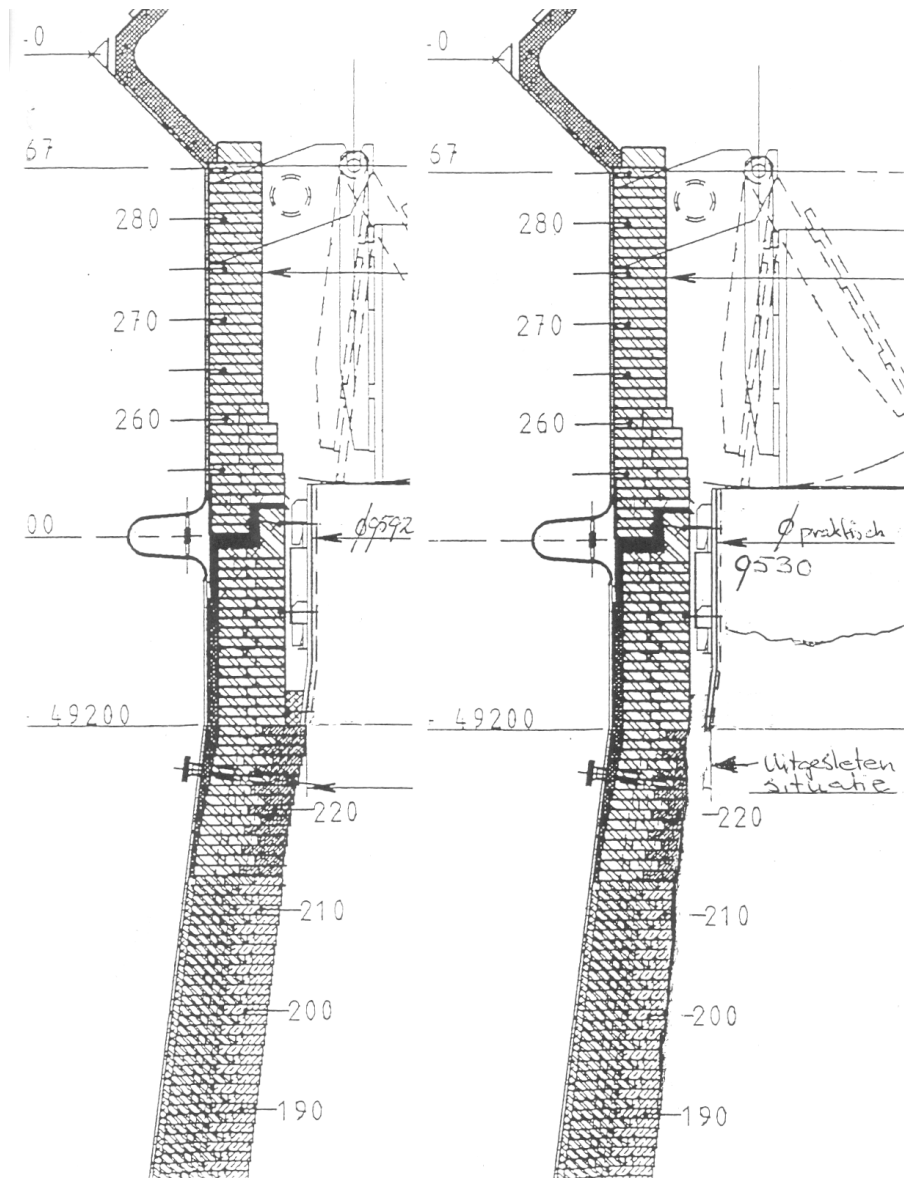
De wand van de oven bevindt zich daardoor zo'n 12 tot 18 cm. achter de voorkant van de platen.

Laagopbouw ruim binnen de platen vindt plaats over een diameter van $\varnothing 9600$, die onder de platen op een diameter van $\varnothing 9900$. De oppervlakteverhouding is hierbij dus $(9,9 / 9,6)^2 = 1,064$.

De laagdikte wordt, onder de platen geladen, dus ook maar 94% van die tussen de platen (in de cilinder). Dit is een laagdikteovergang die in de normale besturing in drie stappen zou worden uitgevoerd. Een zeer aanzienlijke verandering dus.

Een bijkomend extra nadelig effect is dat bij scheefliggen van de lading rond het sprongpunt twee laagopbouw situaties ontstaan, een die behoort bij $\varnothing 9,6$ m en een die behoort bij een $\varnothing 9,9$ m.

Overwogen moet worden of bij een a-symmetrisch werkende oven het niet de voorkeur verdient de valhoogte op te trekken tot 2,0 m (ipv. 2,3 m). Ook kan met dit middel een meer of minder grote hartdoorgassing worden ingesteld, bv. rond afregelsituaties en stilstanden.





Corus Strip Products IJmuiden
Manufacturing Hoogovens

Het Hoogovenproces

Hoofdstuk : 07 bijlagen

Revisienummer : 01

Datum uitgifte : 12-2001

Bladzijde : 18 van 7



Bijlage 3

Beschouwing over de slakvorming bij laag slakvolume en rond bijzondere productiesituaties.

Inleiding

Al onze normale inzetstoffen als pellets en sinter en het Sishen erts zijn zodanig arm in SiO_2 dat bijregelen van de slaksamenstelling vrijwel niet meer op korte termijn mogelijk is. Dit leidt er toe dat bij moeilijk te voorziene perioden met een hoog Si in het ruwijzer automatisch een hoge slakbasiciteit ontstaat. Deze slak is veelal niet zonder extra problemen op de granulatieput te krijgen. Dit probleem speelde het sterkst bij HO 4 waar de omstandigheden met weinig slak en een relatief lang rennenstelsel het ongunstigst zijn. Dit wordt nog versterkt doordat de slaksamenstelling met relatief veel MgO (> 12%) snel aanleiding geeft tot het dichtsmere en vollopen van het rennenstelsel. Speciaal onder omstandigheden rond stilstandsituaties is dit daar een nauwelijks te voorkomen probleem.

Er wordt voorgesteld voor deze "te voorziene" situaties een tijdelijke zure slaksamenstelling te kiezen bijvoorbeeld als volgt. "De basiciteit na de stilstand is gedurende X-vullingen 90% standaardbasiciteit, waarbij X met name samenhangt met de extra te rijden kookbakken", bv 2x het aantal (cq de periode van) extra kookbakken.

Voor speciale omstandigheden waarbij het Si in ruwijzer torenhoog kan worden, wordt voorgesteld een hoog SiO_2 -houdend erts aan te schaffen opdat de gewenste hoeveelheid SiO_2 tbv de Si-redukatie in ruime mate in de möller en de slak aanwezig is.

Huidige situatie

Een goede slakvoering is uitermate belangrijk voor het verkrijgen van de gewenste ijzerkwaliteit, als ook voor het afvloeien van de slak naar de granulatieputten en de daarmee samenhangende werkzaamheden in en rond het ovenhuis. Heden wordt uit hoofde van het kostenaspect gestreefd naar een relatief laag slakvolume per ton geproduceerd ruwijzer. Dit streven heeft echter gevolgen voor de regelmaat in de slakvoering met name voor de grootte van de schommelingen in het resterend SiO_2 -gehalte van de eindslak.

we met een spreiding in het Si-gehalte van het geproduceerde ruwijzer van $\pm 0,2\%$ ten opzichte van de richtwaarde dan zal als gevolg hiervan de gemiddeld juist ingestelde basiciteit van 1,50 (CaO+MgO) gaan zwaaien tussen de 1,42 en 1,58.

SiO_2

Bij "snelle" Si-schommelingen zal dit door de demping in de oven meestal beperkt blijven tot ongeveer de halve waarde. Dan nog schommelt de waarde tussen de 1,46 en 1,54 voor HO 6 en HO 7.

Uiteraard wordt deze spreiding nog vergroot omdat ten gevolge van de fluktuaties in de grondstoffen de waarde 1,50 bepaald niet constant is. Zo levert bijvoorbeeld 0,6% verschuiving in asgehalte van de kooks een sprong in SiO_2 van $\pm 1,1$ kg resulterend in een Δ basiciteit van 2 punten.

Een evengroot verschil in basiciteit ontstaat door een verloop in kalkoverschot met 0,2%. Soms heffen de afwijkingen elkaar ten dele op. Veelal echter versterken ze elkaar waardoor de basiciteit aanzienlijk van de gewenste instelwaarde kan wegdrijven. Hierbij is de invloed van de bemonstering nog buiten beschouwing gelaten. De analyses nauwkeurigheid van Lab-west is gelukkig buitengewoon goed. De invloed hiervan op de basiciteit kan vrijwel worden verwaarloosd. Echter waarden tussen de 1,42 en 1,58 bij 1,50 als richtwaarde moeten als "normaal voorkomend" worden beschouwd.

Speciale situaties

Rond een stilstand wordt extra kooks gereden ter compensatie van voornamelijk warmteverliezen in de wandzone en verlies van PCI rond het stilgaan. Dit geeft in principe een verhoging van het SiO_2 en Al_2O_3 -gehalte van de slak. Echter, de veelal optredende stijging in Si van het ruwijzer onttrekt zoveel SiO_2 aan de slak dat er als resultaat een hoog basische, hoog Al_2O_3 -houdende slak ontstaat die bij relatief sterk verlaagde ruwijzertemperaturen door een koud rennenstelsel moet worden afgevoerd. Dit zijn met elkaar strijdige voorwaarden. Het is wenselijk de slak die direct na de stilstand moet worden getapt, betere vloeieigenschappen mee te geven. Dit betekent simpel het opvoeren van het SiO_2 -gehalte bijvoorbeeld tot een theoretisch niveau waarbij de basiciteit op 0,9 x de standaard basiciteit wordt geprikt.

Situaties onder extreme omstandigheden en tijdens "in bedrijf" stellen.



De basiciteitswaarden gaan onvoorspelbaar worden als er situaties voorkomen waarbij het Si in ruwijzer nauwelijks is in te schatten. Dit is vaak het geval bij specifieke aanblaasomstandigheden en na een lange stilstand. Is de periode relatief kort, zo'n 2 á 3 dagen dan beperkt de sprong in Si zich meestal tot 1,2 á 1,5%. Bij aanblaasomstandigheden echter wordt tussen de 70 en 105% möller heel vlot de waarde van 2,5% Si en meer bereikt. Het zal duidelijk zijn dat aan deze vraag naar extra Si niet kan worden voldaan zonder sterke gevolgen voor de basiciteit van de slak. Immers op een "normaal" slaknivo van 250 kg/ton ruwijzer veroorzaakt een Δ Si van 0.5% (dat wil zeggen 0,92 in plaats van 0,42%) een stijging van de basiciteit met 23 punten (van 1,50 \rightarrow 1,73). Wat dit betekent voor de slakgedragingen laat zich moeilijk inschatten omdat dat ook sterk afhankelijk is van externe omstandigheden en de specifieke verhoudingen tussen de hoofdcomponenten. De speelruimte voor het "vloeibaar" verwerken wordt echter snel nul. Duidelijk is wel dat voor een te verwachten en in het verleden steeds waargenomen sprong in Si tot 2% boven de normale waarde speciale maatregelen moeten worden genomen.

Het gebruikelijke opvoeren van het slakvolume naar de dubbele waarde met omloopslak heeft als voordeel dat de extra behoefte aan Si in ruwijzer kan worden gedekt uit de nu tweevoudig aanwezige hoeveelheid SiO₂. Dan nog zal de basiciteit bij een "misrekening" van 1% Si in ruwijzer met 23 punten weggelopen van de berekende waarde. Helaas is dit altijd naar hoog Si en dus hoge basiciteitswaarden. We zitten vervolgens met de dubbele hoeveelheid slechthandelbare slak.

Als bijkomend punt kan nog worden gemeld dat omloopslak gezien de zeefanalyse van dat materiaal de neiging heeft zich aan de wand dan wel in het hart te concentreren. Een en ander is ook met metingen aangetoond.

De hierna beschreven methode lijkt voor de gemelde problematiek een veel betere oplossing.

Praktische mogelijkheden.

Ga er vanuit dat het Si in het ruwijzer verloopt zoals tijdens de laatste paar keren onder soortgelijke omstandigheden gemeten is.

Zie de slak als een beschermvloeistof voor delen van de installatie, zodanig dat zijn omhullende werking op ijzer en installatiewand een overmatige warmte-overdracht moet voorkomen. Dit impliceert dat de slak onder de gegeven omstandigheden goed vloeibaar moet kunnen zijn maar ook dat warmte-overdracht van de slak of via de slak naar de bodem en haardwand zeer beperkt is.

Geef het slakvolume voldoende SiO₂ mee om na aftrek van de grote hoeveelheden Si opgelost in het ruwijzer toch nog voldoende SiO₂ over te houden voor een gunstig laag smelttraject (het temperatuurbereik tussen solidusvlak (figuur 2) en liquiduspunt (figuur 1) van de theoretische eindslak).

Zie af van de theoretisch gewenste ontzwavelingscapaciteit voor het allereerst geproduceerde ijzer. Het eerste ijzer is veelal te koud om in de staalfabriek te worden ingezet. Zo gauw de ijzertemperatuur opkomt, schiet meestal het Si en daarna de temperatuur ook hoog door. Met onze externe ontzwavelingscapaciteit kan warm ijzer altijd van zijn te hoge zwavel worden ontdaan.

Zorg ook onder koude omstandigheden voor een slak met goede vloeibaarheids- eigenschappen. Alleen dit kan blokkade van het ovenhuis voorkomen en daarmee een redelijk ongestoord aanblazen borgen.

De hiervoor in aanmerking komende slak is een slak met relatief lage basiciteit. Er moet worden bedacht dat onder aanblaasomstandigheden veel kooksas en daarmee veel Al₂O₃ aanwezig is. Het in aanmerking komende slak-fasensysteem is dat met een Al₂O₃-niveau van 20%. De fasendiagrammen laten het volgende zien (figuur 1 en 2).

Uitgaande van onze "standaardslak" wordt de liquidustemperatuur gaandeweg lager totdat bij een CaO/SiO₂-verhouding 0,5 een minimum wordt bereikt tussen de 1.200 en 1.280°C met een solidusvlak rond 1.135 á 1.200°C. Zover behoeven we zeker niet te gaan maar het kan uit hoofde van de vloeibaarheid geen kwaad. Het geeft aan dat er naar de zure kant eigenlijk geen beperking is in de slaksamenstelling uiteraard afgezien van het zwavelgehalte in het ruwijzer. Kiest men uit hoofde van het zwavelgehalte toch voor een relatief hoge basiciteit dan moet men bedenken dat een hoog basische doch nauwelijks vloeibare slak ook niet zal kunnen ontzwellen omdat de "kontakvoorwaarde" ontbreekt.

Praktische uitvoering.

Hoe wordt een specifieke zure slaksamenstelling bereikt?



In principe gewoon door toevoeging van alleen SiO₂ aan de möller. Al₂O₃ komt in het algemeen in voldoende mate met de kookas mee en is niet aan schommelingen door reductie onderhevig. Bovendien kan het Al₂O₃-werkgebied relatief breed zijn. Toevoegen van voldoende SiO₂ aan de möller vereist echter specifieke maatregelen.

Er zijn 3 bekende bekende methodieken:

- gewoon grind toevoegen aan de möller;
- fijn grind meesinteren in de Sifa zodat een sinter met een hoog SiO₂- aandeel ontstaat;
- een hoog SiO₂-bevattend erts toepassen.

- Ad a. Grind bevat 93 á 94% SiO₂ en 3% Al₂O₃ naast alkaliën en wat CaO en MgO. Het is een uiterst moeilijk smeltbaar produkt (TI > 1.600°C) en het zal in de hoogoven slechts met behulp van FeO vloeibaar kunnen worden. Voor de eindslak is het bruikbaar. Het nut van grind voor de rustslaksamenstelling is echter erg twijfelachtig, zeker als van grof grind gebruik wordt gemaakt. Hierbij komt nog het feit dat dit soort toeslagen moeilijk met de rest van de möller gelijkmatig kunnen worden verdeeld.
- Ad b. Fijn grind meesinteren tot een sinter met een hoog SiO₂-gehalte ondervangt een groot deel van bovengenoemde nadelen. Het grind is per definitie fijn, is opgenomen in het basis materiaal en daarmee goed verdeeld in de hoogoven. Het vereist echter het aanmaken en op voorraad houden van een specifiek materiaal dat ongetwijfeld gevoelig is voor verwerking. Het systeem is al eens bij BSC toegepast met name door Scunthorpe (Hanniker).
- Ad c. Een hoog SiO₂-bevattend erts toepassen. Een van de hiervoor in aanmerking komende ertsen is Tazadit Silicious. Dit erts bevat ongeveer 30% SiO₂. Het zal daarmee sterk van invloed zijn op het SiO₂-aandeel in de uiteindelijke slak. Het erts is door RL YZE (Rengersen) onderzocht op reduceerbaarheid en kwam daarbij redelijk goed uit de vergelijking te voorschijn. Met een dergelijk type erts zijn in de praktijk alle gewenste verhoudingen te bereiken. Het kan zonder kwaliteitsverlies worden opgeslagen. Gezien de benodigde hoeveelheden en de omstandigheden waaronder het zal worden gebruikt is afzeven niet noodzakelijk. Snelle inzetbaarheid is eigenlijk de enige voorwaarde. Het erts werd overigens bij Teesside als "trimerts" gebruikt.

Voorbeeld rekensommen met beschouwing

Slakvoering Hoogovens algemeen
Slaksamenstelling van de standaardslak

	%	Kg	Bas (th)
CaO	37,2	92	CaO + MgO/SiO ₂ = 1,516
MgO	11,3	28	
SiO ₂	32,0	79	CaO/SiO ₂ = 1,18
Al ₂ O ₃ TiO ₂	17,8	44	
	98,3	243	

In het ruwijzer zit 0,42% Si, dit komt uit 9,0 kg SiO₂.
Het somtotaal komt hiermee op 9,0 + 79,0 = 88 kg SiO₂.

Bij om welke reden dan ook uit de hand lopen van het Si tot bijvoorbeeld 1,5% zal van deze totaal 88 kg, 32 kg in het ijzer oplossen als Si. Er blijft voor de slak dan slechts 88 - 32 = 56 kg over in plaats van de gemiddelde aanwezige 79 kg. De basiciteit van de eindslak wordt hierdoor CaO + MgO/SiO₂ = 120/56 = 2,14 in plaats van de gewenste 1,50. Het liquiduspunt van deze eindslak met overigens in dit geval (44/220)= 20,0% Al₂O₃ ligt dan op 1.525°C, waardoor deze eindslak niet of nauwelijks door het gotenstelsel is te persen. (Overigens heeft deze slak zijn hoge liquidustemperatuur ook te wijten aan het te hoog MgO-gehalte wat oploopt tot 12,7%. Bij 11% MgO zou de liquidustemperatuur dan ± 1.460°C zijn.)

De eenzijdig weglappende basiciteit en liquidustemperatuurverhoging bij hoge Si-waarden zou voor situaties waarin dit is te verwachten kunnen worden gecompenseerd. Bijvoorbeeld, we zouden het slakvolume kunnen verdubbelen met behulp van omloopslak. Per ton ontstaan dan de volgende gewichten en samenstellingen.

		Kg	%	Bas (th)
CaO	92 + 92 →	184	39,0	CaO + MgO/SiO ₂ = 1,78

MgO	28 + 28 →	56	11,9	CaO/SiO ₂ = 1,36
SiO ₂	56 + 79 →	135	28,6	TI = 1418
Al ₂ O ₃ TiO ₂	44 + 44 →	88	19,5	
		<u>463</u>	<u>98,0</u>	

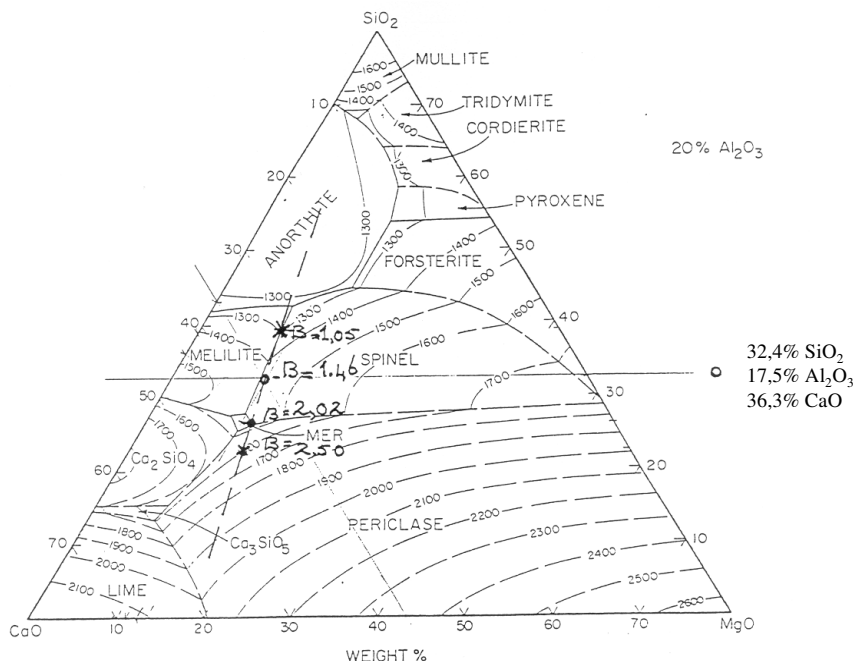
Het brutoslakgewicht is in dit geval 472 kg.

Een andere mogelijkheid is het inzetten van een hoog SiO₂-houdend erts zoals Tazadit Silicious Ore met ± 30% SiO₂.

De berekenbare sprong in SiO₂ kan met dit erts volledig worden opgevangen door een deel van de in te zetten zure möller bestanddelen, in ons geval voornamelijk pellets, door dit Tazadit SiO₂ te vervangen.

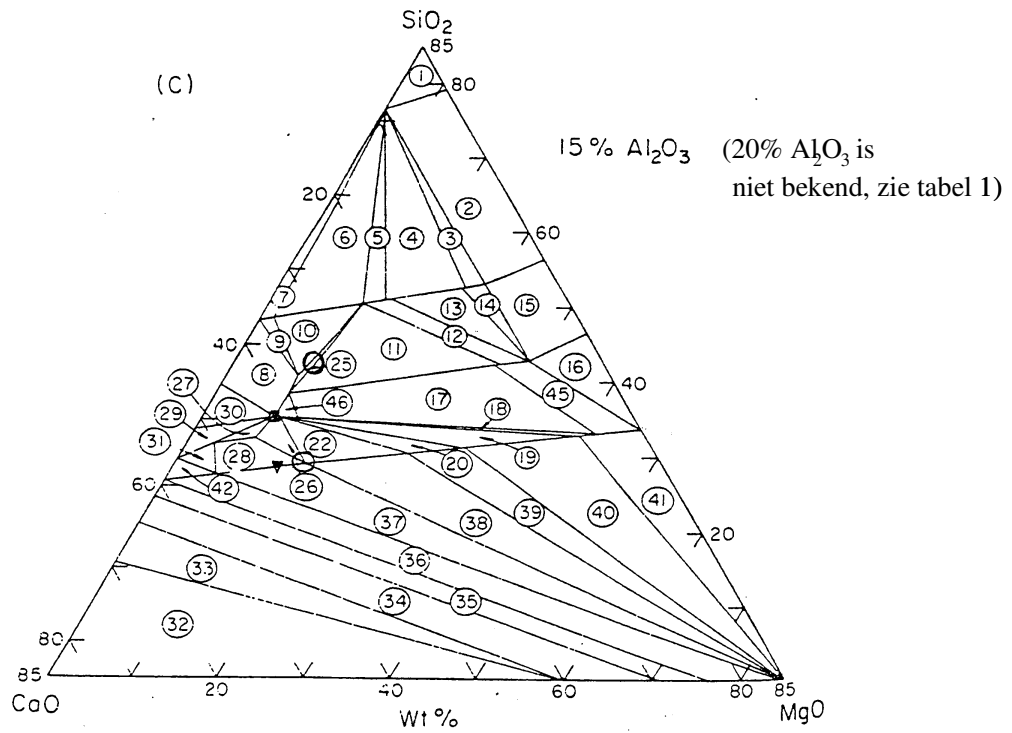
Een bijkomend voordeel is dat ook het MgO-gehalte naar beneden gaat omdat althans een deel van de MgO-bijdrage uit de pellets wordt weggenomen en verdunnen ontstaat door de SiO₂-toename. In situaties waarbij er bewust naar een hoge warmte-inhoud van de oven en daarmee van het ruwijzer wordt gestreefd, is de kooksinzet hoog en daarmee de kooksasbijdrage in de slakvorming. Daar kooksas ruwweg een SiO₂ - Al₂O₃-verhouding van 5:3 heeft zal als gevolg hiervan ook een hoog Al₂O₃-gehalte in de eindslak ontstaan. De ervaring leert dat Al₂O₃ op kan lopen tot 22 á 23%. Gaan we er vanuit dat voor situaties met een voorspelbaar hoog Si-gehalte in ruwijzer (bijvoorbeeld t/m 2,5%) de behoefte aan Si kan worden gedekt met een hoog SiO₂-erts en dat bovendien bij de hoge ijzertemperatuur de basiciteit mag zakken tot 1,35 dan ontstaan "slaktechnologisch" veel prettigere omstandigheden. De relatief zure slak heeft goede vloeieigenschappen (Al₂O₃ niet te hoog) en een relatief lage liquidustemperatuur. De ontzwaveling zal gezien de snel bereikte hoge ruwijzertemperatuur best redelijk zijn. Naontzwaveling is zeer wel mogelijk. Het voorbeeld is weergegeven in omgewerkte aanloopmöllers.

Liquidustemperaturen (fig 1)



Bij onttrekken van SiO₂ tot de grens van Merwinite - Spinel – Periclaas loopt de basiciteit op tot 2,02 en de liquidustemperatuur tot ongeveer 1470 à 1475°C. Het solidusvlak is 1380 tot 1410°C. Verhoging van SiO₂ tot B = 1,05 → TI = 1300°C. Het solidusvlak ligt op 1210 tot 1250°C. (De liquidustemperatuur TI betekent 100% vloeistof en het solidusvlak betekent 0% vloeistof.)

Solidus vlakken (fig. 2)



SYSTEMS IN WHICH A GAS PHASE IS NOT IMPORTANT

Table 6-1
SOLIDUS TEMPERATURES, AND PHASES PRESENT IN THE
VARIOUS AREAS OUTLINED IN FIG. 120

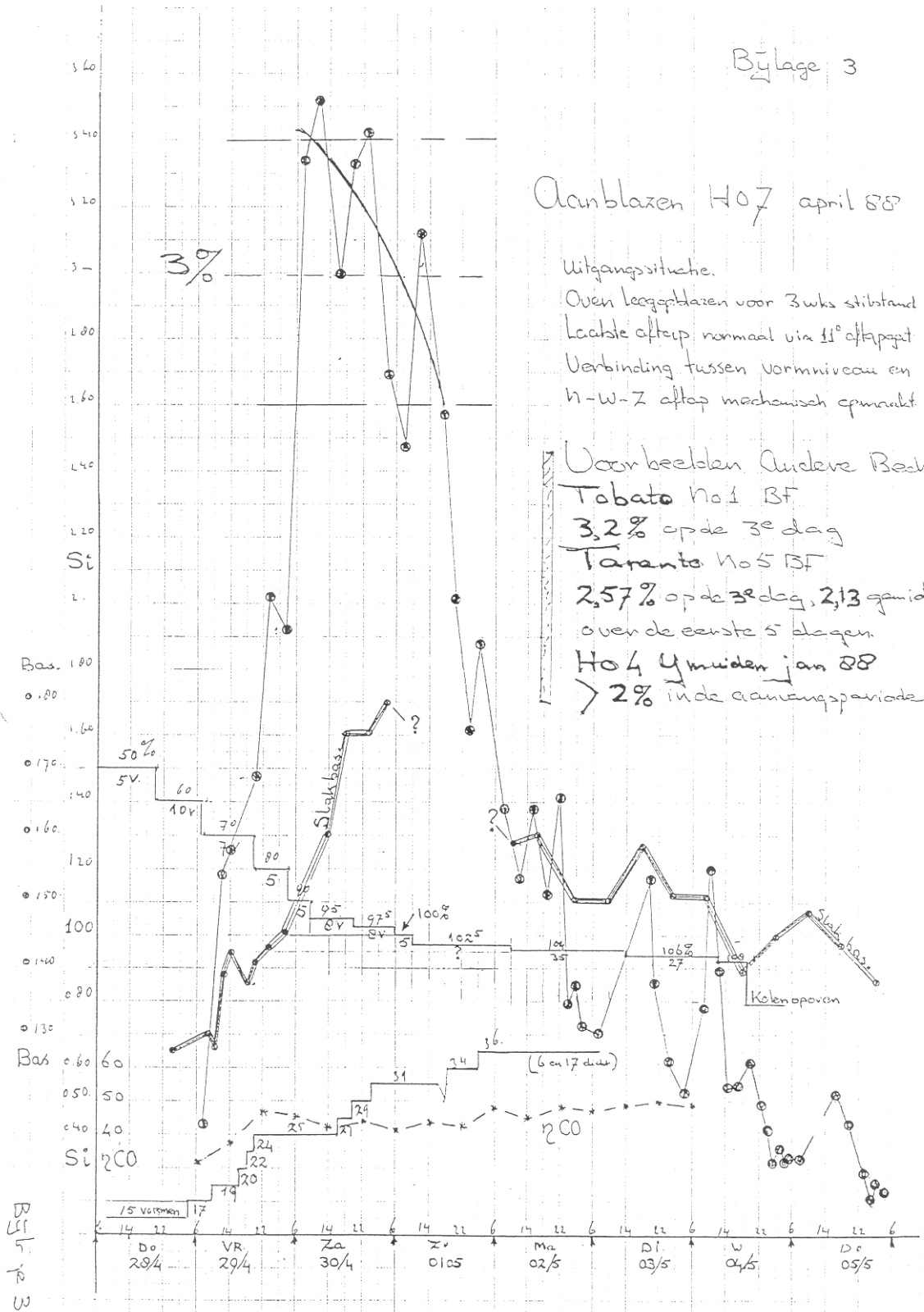
NUMBER OF AREA	SOLIDUS TEMPERATURE	CRYSTALLINE PHASES* PRESENT AT SOLIDUS TEMPERATURE	NUMBER OF AREA	SOLIDUS TEMPERATURE	CRYSTALLINE PHASES* PRESENT AT SOLIDUS TEMPERATURE
1	1300°	An + Cord + Mel + Sil	24	1250°-1357°	Di + Fo(75-83) + Mel(70-100)
2	1200°	An + Cord + En + Sil	25	1210°-1225°	An + Di + Mel(70-81)
3	1200°-1222°	An + En(82-100) + Sil	26	1380°-1390°	Mel(37-63) + Mer + Sp
4	1170°	An + Di(78) + En(82) + Sil	27	1390°-1400°	C ₂ S + Mel(37-100) + Mer
5	1135°-1200°	An + Di(100-78) + Sil	28	1390°	C ₂ S + Mel(37) + Mer + Sp
6	1135°	An + Di + Sil + Wo(93)	29	1300°-1360°	C ₂ S + Mel(0-100) + Ra
7	1150°	An + Pw + Sil + Wo(93)	30	1290°-1350°	Mel(0-100) + Pw + Ra
8	1220°-1256°	An + Mel(0-81) + Pw	31	1390°-1414°	C ₂ S + Mel(0-37) + Sp
9	1220°	An + Mel(81) + Pw + Wo(93)	32	1395°	C + C ₂ A + C ₂ S + Per
10	1210°	An + Di + Mel(81) + Wo(93)	33	1380°	C ₂ A + C ₂ S + C ₂ A7 + Per
11	1225°	An + Di + Fo(83) + Mel(70)	34	1295°	C ₂ A + C ₁₂ A7 + C ₂ S + Per
12	1200°-1270°	An + Di(78-100) + Fo(83-100)	35	1300°	CA + C ₁₂ A7 + C ₂ S + Per
13	1200°	An + Di(78) + En(82) + Fo	36	1325°	CA + C ₂ S + Per + Sp
14	1200°-1260°	An + En(82-100) + Fo	37	1410°	Mer + Mon + Per + Sp
15	1240°	An + Cord + En + Fo	38	1400°	Mer + Mon + Per + Sp
16	1300°	An + Cord + Fo + Sp	39	1400°	Mon(74-100) + Per + Sp
17	1285°	An + Fo(80) + Mel(70) + Sp	40	1400°	Fo(74) + Mon(74) + Per + Sp
18	1285°-1400°	Fo(74-80) + Mel(63-70) + Sp	41	1400°-1540°	Fo(74-100) + Per + Sp
19	1380°	Fo(75) + Mel(63) + Mon(75) + Sp	42	1350°	CA + C ₂ S + Geb + Sp
20	1380°-1400°	Mel(63) + Mon(75-100) + Sp	43	1380°-1436°	Mel(63-100) + Mer + Mon
21	1375°-1437°	Fo(74-75) + Mel(63-100) + Mon(74-75)	44	7	Mel(63-100) + Mon(75-100)
22	1380°	Mel(63) + Mer + Mon + Sp	45	1285°-1317°	An + Fo(80-100) + Sp
23	1475°	An + Cor + Mel + Sp	46	1285°-1360°	An + Mel(0-70) + Sp

* Abbreviations used have the following meanings:

Ak	= Akermanite	CA ₂	= CaO·2Al ₂ O ₃	Fo	= Forsterite	Per	= Periclase
An	= Anorthite	CA ₀	= CaO·6Al ₂ O ₃	Geb	= Gehlenite	Pw	= Pseudowollastonite
Cor	= Corundum	C	= CaO	Mel	= Melilite (given in % akermanite)	Ra	= Rankinite
Cord	= Cordierite	C ₂ S	= 3CaO·SiO ₂	Mer	= Merwinite	Sil	= Silica
C ₂ A	= 3CaO·Al ₂ O ₃	C ₂ S	= 2CaO·SiO ₂	Mon	= Monticellite	Wo(93)	= 93% CaSiO ₃ -- 7% CaMgSi ₂ O ₆
C ₁₂ A7	= 12CaO·7Al ₂ O ₃	Di	= Diopside	Mul	= Mullite		
C ₂ A	= CaO·Al ₂ O ₃	En	= Enstatite				

Parentheses after the compound abbreviation indicates the content (in %) of that species in one of the solid-solution series shown below: Diopside-Enstatite; Akermanite-Gehlenite (Melilite); Forsterite-Monticellite. Thus Fo(80-100) means that forsterite ranges in composition from 80% forsterite-20% monticellite to 100% forsterite.

Verklaringen figuur 2.



Tabel 2



		1.4 Samenstelling en resultaten aanblaasmolers HO 7 voor april 1988												Gewijzigd tbv opname hoog SiO2 erts Tazadit Sil					
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	97,5	100	95	100	102,5			
Molers	%	20.000	27.200	35.200	41.600	50.000	62.000	70.000	80.000	82.000	96.000	108.000	115.000	123.000					
Sinter	kg	4.800	21.400	37.200	54.200	69.200	79.000	92.000	110.000	120.000	125.000	125.000	127.000	128.000					
HO pellets	kg							300	400	500	500	500	500	500					
Samascor	kg									400	1.000	2.000	2.500	3.000					
Bauxiet	kg						6.000	10.000	17.000	20.000	12.000	6.000	2.000	2.000					
Tazadit Silicious	kg	24.800	48.600	72.400	95.800	119.200	147.000	172.300	197.400	222.500	234.700	241.500	247.000	254.500					
Totaal	kg	80.800	80.800	80.800	80.800	80.800	80.800	80.800	80.800	80.800	80.800	80.800	80.800	80.800					
Kooks droog	kg	65.000	63.000	59.000	58.000	56.000	40.000	20.000	12.500	11.300	9.000	6.600	4.000						
HO slak	kg																		
aantal vullingen		1	2	2	2	2	5	8	10	8	7	5	8	8	8	pm	1 = werkelijk gerekend		
Resultaten en uitgangsp																			
Si in RY	%	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1,00	2,00	3,00	3,00	2,00	1,20	0,75	0,45					
Ruwijzer	kg	15.448	30.881	46.242	61.478	76.531	92.365	107.780	123.247	138.387	146.100	150.180	153.677	158.070					
Kooks drifon RY	kg	5.231	2.617	1.747	1.314	1.056	875	750	666	584	553	538	526	511					
Sinter	%	80,6	56,0	48,6	43,4	41,9	42,2	40,6	35,5	36,9	40,9	44,7	46,6	48,3					
HO pellets	%	19,4	44,0	51,4	56,6	58,1	53,7	53,4	55,7	53,9	53,3	51,8	51,4	50,3					
Mn in RY	%	1,75	1,00	0,74	0,62	0,55	0,6	0,52	0,47	0,47	0,49	0,50	0,50	0,50					
P in RY	%	0,154	0,098	0,080	0,071	0,065	0,062	0,061	0,059	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058					
Slak/RY	kg	4620	2330	1530	1173	952	663	406	299	282	279	280	271	252					
S in de slak	%	1,72	1,67	1,94	1,59	1,54	1,70	1,83	1,92	1,78	1,66	1,52	1,46	1,39					
Slakanalyse																			
SiO2	%	34,1	34,2	34,2	34,3	34,2	33,9	33,9	32,8	32,7	32,1	32,2	32,1	32,4					
CaO	%	34,6	34,6	34,6	34,5	34,6	34,6	34,6	34,4	36,3	36,3	36,1	36,3	35,9					
Al2O3 + TiO2	%	18,8	18,5	18,2	18,0	17,7	17,3	17,3	17,5	17,3	17,3	17,3	17,3	17,2					
MgO	%	10,0	10,2	10,5	10,7	10,9	11,8	11,8	12,7	12,7	12,4	12,0	11,8	11,6					
Basiciteit op keuze Si		1,30	1,31	1,32	1,32	1,33	1,37	1,37	1,44	1,47	1,50	1,49	1,50	1,50					
Basiciteit op 0,6 Si		1,30	1,31	1,32	1,32	1,33	1,12	1,12	0,94	0,94	1,13	1,31	1,45	1,56					
CaO/SiO2		1,01	1,01	1,01	1,00	1,01	0,98	1,02	1,05	1,08	1,11	1,12	1,13	1,11					
Volumne	m3	212,5	222,5	231,3	241,6	251,6	253,7	230,4	256,0	267,4	273,6	278,0	281,5	283,3					



Stilstandvoorbereiding en aanblazen.

Tot in januari 1988 werd de stilstandvoorbereiding meestal beperkt tot geven van een aantal bakken kooks en het inzetten van een möller met een lagere slakbasiciteit (tot 10% relatief) door het omwisselen van grote hoeveelheden sinter en pellets. (minder sinter, meer pellets)
Het tijdstip waarop de verandering werd gemaakt werd zo gekozen, dat "de extra kooks" voor de vormen lag op het moment van stil gaan.
Na aanblazen werd de koleninjectie zo snel mogelijk op de oven gezet, in principe alleen gedicteerd door het windvolume en de ingestelde minimum begrenzingen.

In 1987 t/m het eerste kwartaal 1988 hadden we gemiddeld één uitbraak (in het windaanvoersysteem van ringleiding naar oven) per maand. Bij de evaluatie van de problematiek in begin 1988 bleek, dat de uitbraak veelal zat na een verstopte aftak, gezien in de stroomrichting van de hetewind. De conclusie die door ons werd getrokken luidde als volgt;
Door blokkering van de winduitstroom in de oven stopt de windaanname van een bepaalde vorm. De poederkool wordt met de transportlucht gewoon doorgedrukt naar de blaaspijp. Met 1 m³/min transportlucht/poederkool mengsel is het windarmatuur binnen één minuut geheel met poederkool gevuld. de poederkool komt in de ringleiding, vliegt in brand met de hetewind en duikt in de naastgelegen windaftakking. De hierbij optredende gastemperaturen zijn ruim in staat het vuurvast van ons windsysteem af te smelten zoals bleek bij inspectie van de hetewindleiding in 1991. De stenen waren zodanig afgesmolten dat de voegen van de kopkanten uitstaken. Onder in de windleiding werd de afgesmolten steen teruggevonden, a.h.w. uitgevloeid als mastiek op een zeer warme dag.

Doorredenerend trokken we de conclusie dat er geen KI op de oven gezet mocht worden voordat redelijk normaal zakgedrag gewaarborgd was. Deze beslissing leidt tot een situatie bij aanblazen met een sterke ondermaat aan SRE per ton, tenzij van te voren reeds ingezet en op het juiste moment bij de vormen aangekomen.
Besloten werd de stilstandvoorbereiding zo uit te voeren, dat naast de extra kooks ter compensatie voor de afkoeling in de stilstand, er ook één of meer vullingen KI tekort, aan extra kooks in de oven werd gereden en wel zodanig dat de extra kooks net in of net voorbij de smeltzone zal komen rond het tijdstip van stilzetten. Tevens werd besloten de "zure" möller wat aan te dikken tot 10% minimaal om de oven wat soepeler en sneller tot een normaal zakgedrag te brengen zonder de noodzaak van langdurig grote "vochtstoten".

Intussen werd de aanzet gegeven tot het beveiligingssysteem wat nu bekend staat onder de naam "zwartkijker".
Hierop volgend werd het Tazadit Silicious erts "ontdekt", een hematiet erts met 30% SiO₂, fijn verdeeld in de structuur.
Dit bood de mogelijkheid, de zure möller te maken met beperkte hoeveelheidwijzigingen tov. de oude situatie. Immers uitwisselen van een grote hoeveelheid sinter voor pellets verandert niet alleen de basiciteit maar ook de laagjes opbouw in de oven doordat de taludhoek zich wijzigt.
Alles bij elkaar waren de ingrediënten bijeen gehaald en moest de optimale samenhang op basis van praktische ervaring worden uitgedokterd.
Hier overheen kwam nog de grote verandering in procesbesturing, nl. het kiezen voor een constante ertslaagdikte i.p.v. een vast kooksgewicht van 2 volle bakken en de daarop volgende ommezwaai naar een centraal doorgaste oven door het creëren van een hoge steile smeltzone met een schone kookskolom in de oven.
In deze nieuwe situatie blijkt de gewenste voorloop tov. het moment van stilzetten negen vullingen te zijn of wel uitgedrukt in te produceren ruwijzer 1400 ton voor HO 6 en globaal 2000 ton voor HO 7.
Deze waarden zijn empirisch bepaald doordat de feitelijke momenten van stilgaan wel eens te vroeg dan wel te laat vielen.
Met name "te laat" bijt zichzelf omdat de oven dan te warm de stilstand in gaat en er ook te warm uitkomt, meestal gevolgd door een koude periode daarna. Weliswaar is dit laatste te repareren met extra KI op de oven maar de geïntroduceerde slinger in de kwaliteit is niet gewenst door de staalfabriek.
Kortom, tracht rond stilstanden de extra kooks in de onderkant van de smeltzone te krijgen en de zure möller feitelijk door de oven.
De zure möller moet flink (3 vullingen) eerder zijn dan de extra kooks omdat t.g.v. menging met de slak (die standaard is) in de oven het effect ervan tamelijk traag doorkomt.



Als de oven wordt aangeblazen wordt het gebrek aan KI gecompenseerd door de extra kooks die dan snel bij de vormen aankomt.

De vlamtemperatuur zonder KI inzet is tamelijk hoog. De reductie van FeO uit de smelt kan dan zeer snel verlopen waardoor een stugge smeltsituatie ontstaat. Het extra aan SiO₂ in de smelt compenseert het "gebrek" aan FeO. Tevens levert het de benodigde Si bij een wat doorschietende Si-waarde in het ruwijzer.

Als alles volgens recept verloopt is het zelden noodzakelijk de vanouds bekende "vochtstoot" toe te passen en zal de oven uit zichzelf gaan lopen, zodat er tijd voldoende is om zakgedrag af te wachten zowel als het tijdstip waarop KI gepland op de oven moet worden gezet.

Als de oven conform het stilstandprogramma op het gewenste tijdstip is stilgezet en het thermisch niveau is normaal gebleven, dan is het belangrijk dat het startpunt KI op de oven na aanblazen netjes op de afgesproken uitgerekenende waarde wordt geprikt. Immers de berekende 1 à 2 vullingen moeten zonder KI worden gedraaid en dus ook niet ten dele met KI.

Want als gerekend is zonder KI en het wordt met KI, dan sleept de wind per ton te produceren RY nog eens 40 à 50% aan voor de vormen te vergassen koolstof naar binnen.

De productiesnelheid zal hierdoor dalen en een toch al warme oven zal langer te warm blijven omdat de smeltzone naar boven schuift.

Alleen als de oven bij het ingaan van de stilstand koud tot te koud is kan van het bovenstaande gebruik worden gemaakt om de oven zo snel mogelijk thermisch op te krikken dan wel te voorkomen dat de smeltzone te laag komt te liggen.

Een oven die feitelijk veel te warm de stilstand ingaat zou men kunnen "remmen" door de KI er te laat op te zetten. Echter dan wordt ook de periode zonder extra zuurstof langer wat de productie ook remt. Een halve KI waarde met de volle zuurstof werkt wel maar geeft een hoge vlamtemperatuur en dus een hoog Si.

Beter is om de overmaat "energie" weg te drukken met vocht. Dit verlaagt het thermische niveau van de onderoven behoorlijk en dat van de schacht eveneens. Vocht levert echter ook reductiegas in de vorm van CO en H₂ waardoor de gasreductie toch redelijk wordt ondersteund.

Bij het na stilstand weer in productie gaan, dient men het volgende te bedenken. In de vulling(en) waarbij geen KI op de oven staat, draait de oven op een "All Coke" möller met een overmaat aan SRE, nl de compensatie voor de koelverliezen. Om de vlamtemperatuur niet te extreem te laten worden wordt geen of nauwelijks O₂ aan de wind toegevoegd. Dit betekent dat de productiesnelheid (ofwel vormenkooks vergassingssnelheid) laag is nl.

$$\left\{ \frac{W \text{ vol}}{W. \text{ vol RW}} \times \frac{21}{21 + \text{verrijking}} \right\}$$

Dit is meestal niet meer dan 50% van de normale productiesnelheid. Bovendien moet alle ruimte die door inklink en dichtvallen van de raceway is verdwenen, wederom ontstaan. Het zal dus wel enige tijd kunnen gaan duren voordat er "redelijk normaal" zakgedrag wordt geconstateerd, dé voorwaarde voordat in deze omstandigheden de kolen op de oven kunnen.

In bovenstaand voorbeeld duurt de verwerking van één vulling gemiddeld gauw een uur. Bij het al dan niet toch nog willen geven van een vochtstoot moet dit wel bedacht worden. Een vochtstoot is soms nodig als de extra SiO₂ reeds is geconsumeerd bv. tgv van een veel te hoog Si in ruwijzer en bij veel te laat stilgaan t.o.v. de voorbereidingstijd. Echter enig geduld is vaak wel op zijn plaats. Mocht er hoe dan ook te veel zijn geconsumeerd dan kan men trachten via gematigd extra zuurstof in combinatie met extra vocht voor de vlamtemperatuurregeling, de aanloop te versnellen.

De hoeveelheid vloeibaar die kan worden afgetapt in de eerste 2 uur na een stilstand is in het algemeen beperkt. Enerzijds is al aangegeven dat we over de eerste 2 vullingen 2 x zo lang doen, anderzijds moeten we ook bedenken dat al het vloeibaar wat is afgetapt nadat we de brillen hebben verwijderd, feitelijk behoort bij de volgende aftap, nl de eerste die na de stilstand komt.

Ook zal de productieberekening na de stilstand een zeer optimistisch beeld geven. Deze is nl geënt op de KI met een laag kooksverbruik voor de vormen. Dat dit 1,8 x zo hoog is weet de berekening niet en daarmee ligt de werkelijke productie op 50 à 60% van de berekende waarde, zeker tijdens de eerste vulling.

Het is dus niet zo zinvol vroeg open te gaan. T.g.v. de matige gasproductie is er slechts lage druk in de oven en de hoeveelheid aftapbaar ruwijzer is aan de (zeer) magere kant.

Globaal zou ik willen voorstellen niet eerder open dan het moment waarop de oven op kolen gaat.

De siliciumschakelaar na aan blazen.

De ervaring heeft geleerd dat het Si in het ruwijzer nog wel eens flink wil doorschieten na een stilstand, zeker als aan de stilstand een bijzondere voorbereiding is vooraf gegaan. Een deel van de Si opbouw



heeft voornamelijk te maken met het drukniveau in de oven in geval van zo'n niet stationaire situatie en nauwelijks betrekking op de productiesnelheid bepaald uit Si tov. richtwaarde Si.

De voortschrijdende Si waarde valt in dit soort gevallen te hoog uit en berekent een te lage productiesnelheid. Dit valt meestal niet op aan het proces omdat veelal de thermische toestand "te heet" is. De koleninjectie wordt echter ook op een te lage waarde aangestuurd. Dit kan zich gaan wreken als de oven kouder wordt. Op basis van de najlende "Si schakelaar" wordt te weinig kolen geïnjecteerd en dus te weinig gas per ton geproduceerd. De oven zal te koud worden indien niet tijdig wordt ingegrepen.

Een handige methode om dit te ondervangen is het op de hand nemen van de Si regeling. Zet de schakelaar vast en geef een waarde mee die ligt midden tussen de richtwaarde en de te hoge waarde. Zet als de hoge waarde 0,60% wordt of lager de schakelaar vast op richtwaarde. Gooi de schakelaar los als de berekende waarde in de buurt komt van de richtwaarde. Zorg voor voldoende analyses en laat ze bij twijfel op nieuw maken. Bij gebrek aan analyses kan regelmatig temperaturen voldoende informatie geven om "doorzakken te voorkomen.



Corus Strip Products IJmuiden
Manufacturing Hoogovens

Het Hoogovenproces

Hoofdstuk : 07 bijlagen

Revisienummer : 01

Datum uitgifte : 12-2001

Bladzijde : 30 van 7



Bijlage 5

Diepblazen van een Hoogovens

Wat is diepblazen?

Diepblazen is het bedrijven van het hoogovenproces zonder gelijktijdige belading.

Kenmerken;

Zelfs de laatste ingereeden laag ijzerhoudend ondergaat het gebruikelijke temperatuur – reductietraject alsof de oven gewoon vol was gebleven.

De schachtgastemperatuur kan niet worden opgenomen door de koude lading en moet daarom worden vernietigd door ingespoten water. Dit water mag de bovenste ertslaag niet bereiken, niet direct en ook niet via de wand

Het overgrote deel van het gas, te produceren door de bovenste kookslagen en de in te blazen poederkool, is bestemd voor ertslagen die niet in de oven zijn gekomen. Feitelijk hoeft alleen de kooks voor directe reductie en de 52 kg/ton op te lossen in het ruwrijzer tussen de ertslagen aanwezig te zijn, zo gauw als de ertslagen boven de 1000° C (FeO 0,6) zijn gekomen. Dit betekent in de praktijk met 300 kg kooks/try en totaal 475kg SRE/try dat de poederkool direct of vrijwel direct van de oven kan. (eventueel wat langer op een lager niveau). Het tijdstip is eenvoudig af te lezen op de gasanalyse, CO₂ daalt nl. zeer snel. {gasanalyse apparatuur niet laten verzuipen}

Ladinghoogte voor aanvang diepblazen

Lading die niet in de oven zit hoeft er ook niet uitgewerkt te worden tijdens diepblazen. Het is dus belangrijk de oven voor het stilzetten, voorafgaand aan diepblazen zo diep mogelijk weg te zetten. In de praktijk is gebleken dat 7 à 8 meter lager dan het standaard ovenpeil (zonder in werking treden van de topkoelpomp) zeer goed mogelijk is. Men dient dan echter wel 8 uur van te voren te beginnen met stapsgewijze verlagen van het ovenpeil. Dit heeft tevens het voordeel dat diverse werkzaamheden in de voorafgaande stilstand eenvoudiger kunnen gebeuren.

De toplaag van de lading dient te bestaan uit kooks.

Het is vrijwel niet te voorkomen dat het koelwater de toplaag raakt. Het contact van water met hete kooks produceert watergas en dus veel H₂. Dit geeft een indicatie voor de mate van contact tussen sproeierwater en kooks toplaag. Tevens is het raadzaam de laatste ertslaag aan de wand een relatief geringe laagdikte te geven. Hierdoor komt extra kooks aan de wand, ter compensatie voor "wandwater" dat op de wand gespoten in een film naar beneden loopt.

Het sproeien dient altemeer te gebeuren dwz. bij meerder sproeiers om en om dan wel in paren met voldoende frequentie van wisselen. Bedenk dat de topanalyse te traag is voor een goede indicatie met behulp van waterstof. De toptemperatuur meting werkt in dit geval veel beter, doch heeft ook zijn nadeling. Laat daarom de temperatuur niet oplopen totdat de maximum waarde wordt gemeten, maar start reeds op 70% van de range tussen min- en max. toelaatbare temperatuur.

Voorts is het handig kleine en grote sproeiers te hebben. Vooral in het begin worden veelal alleen kleine sproeiers gebruikt en is het onhandig om te moeten werken met grote volumina en kleine tijdsintervallen.

De na te streven gemiddelde toptemperatuur wordt bepaald door de maximaal toelaatbare staaltemperatuur van de uptakes, gemeten juist boven de ring waar de vuurvaste bekleding van deze stijgleidingen stopt.

Let op. De pantsertemperatuur van de stijgleidingen is niet de toptemperatuur. Bovendien kan er een stevig onderling verschil ontstaan tussen de vier stijgleidingen. Het is zaak bij twijfel goed te controleren, zeker bij bijna windstil weer.

De warmte energie die uit de oven komt zal overwegend worden opgenomen door het waswater van de gasreiniging. De watertemperatuur zal daarbij boven de 60° C uitkomen en een evenwicht vinden via extra verdamping door opschroeven van de temperatuur en de bij die temperatuur behorende verdampte hoeveelheid water.

De gastemperatuur en de watertemperatuur zijn na de wassing gelijk.



Bij 60° C zit er dan 130 gram waterdamp in een bruto m³. Als dit gas de expansieturbine doorloopt, zal deze turbine veel van de energie omzetten en KWh's waardoor de gastemperatuur sterk zakt en veel water wordt uitgecondenseerd. Als de turbine niet beschikbaar is blijft vrijwel alle energie in het gas. Dit kan onder windvrije omstandigheden de temperatuur van de leidingen naar het hoofdgasstelsel doen oplopen tot boven de 60° C hetgeen ontoelaatbaar is. Feitelijk moet aan een van de volgende voorwaarden worden voldaan; of de turbine doet zijn werk naar behoren of we wassen met koud water in een doorloopsysteem direct op het riool (once through systeem). Bij de laatste diepblaasomstandigheden bij hoogoven 7 was de turbine door storing niet beschikbaar, het "koudwaterbedrijf" faalde en de weersomstandigheden waren zomers en zonder wind. Toen de hoofdgasafvoer over de leidingbrug rond de 60° C was geworden, moest het windvolume worden afgeregeld. Toch liep de temperatuur nog verder op naar 63 à 64° C. Het openen van de hoeden (een of meer) zou technisch een oplossing zijn geweest, echter milieuvriendelijk is deze ingreep allerminst.

Het aflopende proces.

Het naderende einde van de gasreductie is bij een goedwerkende gasanalyse eenvoudig vast te stellen. Het % CO₂ zakt geleidelijk naar de laagste waarde van globaal zo'n 5 à 6%. Dit betekent dat geproduceerd gas niet meer deelneemt aan de reductiereacties (zuurstof afbouw van het ijzeroxide) maar alleen nog maar warmte afstaat aan de materie waar het doorheen stroomt. De rest van de reductie geschiedt direct met vaste koolstof. Als dit werkpunt bereikt is kan de KI volledig van de oven (evenals de mogelijk nog aanwezige zuurstofverrijking). Dit heeft als voordeel dat de vlamtemperatuur hoger wordt bij een sterk afnemend gasvolume. De onderoven wordt daardoor warmer en er wordt minder energie uit de lading naar boven gestuurd.

Als naderhand de CO₂ zijn laagste waarde heeft bereikt en weer langzaam oploopt gaan we de situatie naderen dat de kookslaag zoveel dunner wordt dat de mogelijkheid bestaat dat de wind partieel door gaat blazen. Hieraan voorafgaand zal eerst de CO concentratie geleidelijk zakken {het % is sterk afhankelijk van de bijdrage van de watergasproductie door natgesproeiende withete kooks} In deze situatie moeten we gaan blazen met een zo laag mogelijk tegendruk om de impuls optimaal te krijgen. Dit verkleint de afmeting van de dode man en zorgt tevens voor het beter afrollen van de kooks (wervelbed effect) naar de vormen. Afhankelijk van de koelcapaciteit van de sproeiers en mogelijke reacties in de installatie na de feitelijke oven is het windvolume reeds meer of minder flink afgeregeld. De toe te laten hoeveelheid aan het eind van diepblazen is moeilijk exact vast te stellen cq. te voorspellen. De ervaring leert dat doorblazen tot het punt CO₂ = CO {in procenten} goed mogelijk is, echter dan moet er wel vanaf het punt CO₂ = 0,5 x CO rustig worden geblazen (naar schatting 20% van het WV normaal) Ook is belangrijk met de hoeveelheid koelwater zo te regelen dat het % H₂ onder de 10 à 12% blijft, immers in de eindsituatie is de H₂ uitsluitend afkomstig van de watergas reactie (water + kooks) Te veel watergasproductie verbloemt de gasproductie tgv. het blazen. Het geproduceerde gas is uitermate rijk, gerelateerd aan de verbrandingswaarde van normaal hoogovengas. Dit is voornamelijk het gevolg van de zeer hoge concentraties aan waterstofgas uit het sproeiwater en de withete kooks. Ondanks dat is de situatie in de oven weinig explosief, immers er is nauwelijks O₂ aanwezig en een beperkte hoeveelheid CO₂. Bovendien regent het onder de sproeiers in de lege schacht zeer intensief. Echter na wassing en afkoeling houden we een tamelijk extreem en rijk gas over dat meestal buiten de toegestane waarden van de ketels van energiebeheer valt. Het lijkt daarom in deze omstandigheden verstandig dit gas sterk op te mengen dan wel bij voorkeur af te fakkelen. Van te voren zorgen dat de sterk van samenstelling wisselende afgassen zonder problemen kunnen worden afgevoerd is erg belangrijk, zelfs als beide oven moeten fakkelen. De situatie zoals die ontstond bij HO 7 in mei 2000 waarbij het diepblazen moest worden gestopt tgv. onduidelijke afspraken en een uit de handlopend tijdschema {tov. de geplande situatie bij HO 6} is uitermate vervelend voor zowel de uitvoerenden als ook voor het milieu.



Het ladingniveau tijdens het diepblazen is interessant maar eigenlijk niet zo erg belangrijk.

- a) het vereist een behoorlijke inspanning om peillieren te installeren
- b) het vereist vaardigheid om de peilgewichten niet af te laten branden
- c) de vermindering van de oveninhoud kan aardig gevolgd worden via de afgetapte hoeveelheid uiteraard voor zover het ijzer en slak betreft
- d) de wanddrukmeting geeft eveneens een indicatie tot welke hoogte de lading tegen de wand ligt

Op basis van de gegevens verkregen tijdens het diepblazen van HO 7 heb ik berekend hoeveel ijzerinhoud deze oven heeft gehad. Dit was 2100 ton bij een KVB = 410 kg/ton en zal 2450 ton zijn bij een KVB van 310 kg/ton.

Voorafgaand aan de stilstand hadden we de oven diep weggezet. Dit had de inhoud reeds verminderd met globaal 2 vullingen zijnde 460 ton ijzer. De resterende 1600 à 1700 ton kon via de MINT meting goed gevolgd en bepaald worden. In het laatste uur liep de productiesnelheid zeer snel terug naar 0 vanaf ongeveer 2 ton/min. Tevens werd bij de steek duidelijk waargenomen dat er overwegend slak liep. Het 0 punt ruwijzerproductie werd na ongeveer 8 uur bereikt. De gemiddelde tapsnelheid in het voorstuk van het diepblazen was 4 ton/min over de eerste 5 uren.

Het inbouwen van de stoomlansen

Het hoofddoel van de stoomlansen is een situatie te scheppen die moet voorkomen, dat er omstandigheden kunnen ontstaan die tot een explosie aanleiding zouden kunnen geven. In feite probeer je ontstekingsmogelijkheden te onderdrukken cq. bij voorbaat te doven. Dit is van belang in het allereerste deel van de diepblaasperiode als de halve schacht leeg is en we uit de stilstandsituatie vandaan komen. Echter als de sproeiërs zeer regelmatig bijstaan en de oven gevuld is met over verzadigd gas en stoom van de sproeiërs is het nut van de stoomlansen maar betrekkelijk. Wel wordt deze stoominput weer belangrijk als het diepblazen wordt beëindigd of onderbroken.

De gasanalyse tijdens de diepblaassituatie.

Zoals in het voorafgaande reeds gesteld, is een goedwerkende gasanalyse onontbeerlijk. Er ontstaan tijdens diepblazen echter 2 hoofdproblemen

- a) het gas is zwaar verzadigd met enorm veel water en nog te condenseren damp.
- b) de druk is relatief laag waardoor er gezogen moet worden

Dit betekent dat speciale maatregelen niet uit kunnen blijven omdat de standaardinstallatie het gas normaliter onder druk aangevoerd krijgt en zo dit gas toch de apparatuur bereikt, dan kan de koeler het niet verwerken.

Beter is een aparte aansluiting te gebruiken na de wassing en wel zo dat deze leiding aflopend naar een condenspot gaat.

In geval van een ongeïsoleerde koperen leiding is de temperatuur van het gas voldoende laag geworden om het vocht uit gecondenseerd te krijgen, zo niet dan moet de condenspot koud gehouden worden. Vanuit deze condenspot gaat een niet te dunne leiding naar de koeler(s) en de gasapparatuur. Het gewenste debiet aan gas wordt met een voldoende grote pomp aangezogen en wel zo dat de analyse apparatuur in een deelstroom staat.

Uiteraard ontstaat er zo ook een naijling maar deze is redelijk in te schatten. Bij een met condens verzopen situatie geeft de apparatuur volslagen onbetrouwbare data.

De toptemperatuur tijdens diepblazen

Bij het diepblazen op 16 mei 2000 is de toptemperatuur niet boven de 350° C uitgekomen en het regelbereik lag tussen de 220° C en 340° C, de hogere waarden voornamelijk in het eerste deel van de gebeurtenis.

Het bereikte resultaat is sterk afhankelijk van de sproeiercapaciteit en de aandacht die er aan wordt gegeven. Hierbij is belangrijk dat alle sproeiërs om en om worden gebruikt, in het begin in korte pozen dat om het benodigde water zo goed mogelijk over het oppervlak te verdelen. Het hoeft geen betoog dat het water niet langs de kant moet lopen. De kookslaag zorgt voor een soort sponswerking die de variaties uideempt.

Indien de gemeten toptemperatuur goed in de gaten wordt gehouden en de sproeiers flink alternerend worden gebruikt, zo gauw als de temperatuur weer gaat stijgen, is de beheersing van de toptemperatuur goed mogelijk {zoals grafiek 7 laat zien}

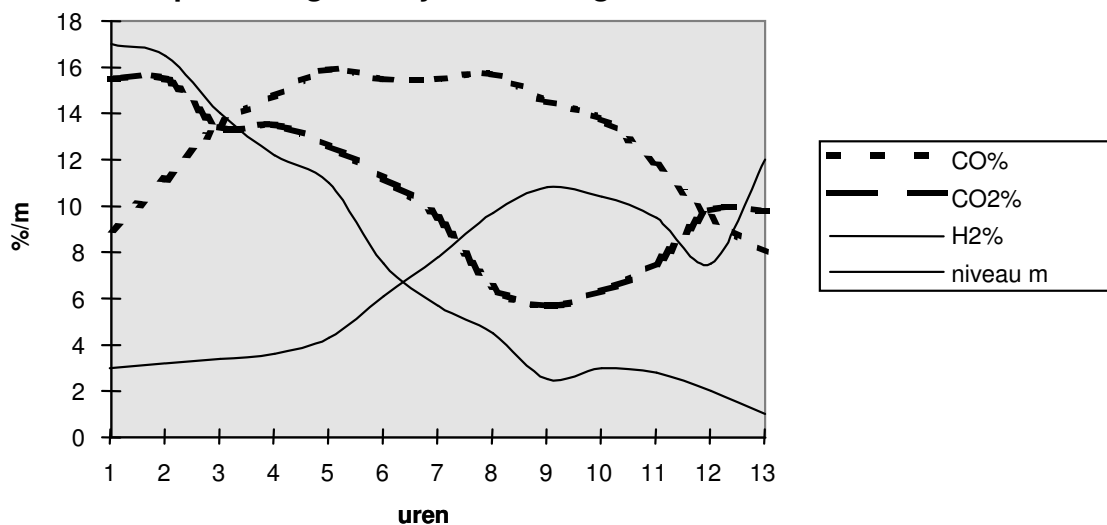
Verstandig is het om één persoon (procesregelaar) hiermee te belasten, die dan ook niets anders mag doen . Permanente aandacht is noodzakelijk omdat er altijd wel wat onverwachts gebeurt bv. pomputval, zoals in de aangehaalde situatie.

De koelverliezen tijdens diepblazen

De koelverliezen zijn opgelopen tot een maximum waarde van 110 GJ/h ongeveer 3 uur nadat met de procedure was begonnen. Het windvolume was hierbij net op de max. waard van 4700 m³/min gekomen, de winddruk was maximaal 2,22 bar bij 1,5 bar topdruk en de oven had een diepte bereikt van 15 m tov. onderkant slagpantser. Dit is 13,7 m boven het vormenvlak. Daarna namen de koelverliezen regelmatig af naar een waarde van 65 GJ/h 4 à 5 uur later.

Een mogelijke aanzetting was in voorgaande week al bestreden door het proces wat randgangiger te verstellen. Enige indicatie van een ongewenste aanbering is niet waargenomen.

Diepblazen: gasanalyse en ladingniveau



Bijlage 6

Haard en haardbewaking

1. Model voor slijtage van de haard

De omstandigheden in de haard zijn erg belastend voor voortdurende en verergerende slijtage van het vuurvast. Het koelsysteem rond de haard en de vuurvaste bekleding zorgen voor de vorming van een aanzetting in de hoogoven (bestaande uit ijzer, slak e.d.). De vuurvaste bekleding en de aanzetting beschermen ook het pantser. De bescherming is effectief als:

- de temperatuur in het vuurvast < 450 °C (lange termijn slijtage door CO-desintegratie);
- vorming van een aanzetting op de hot face van het vuurvast bij hogere temperaturen, waardoor de warmtegeleiding van het systeem (pantser, vuurvast, aanzetting) vermindert.

In beide gevallen is het van levensbelang dat de koelcapaciteit groter is dan het warmteaanbod. Om dit te bereiken zijn er twee mogelijkheden: vergroot koelcapaciteit of verminder het warmteaanbod. De koelcapaciteit wordt bepaald door het ontwerp, door de operationele situatie en door een goed warmtecontact tussen pantser en vuurvast en in het vuurvast.

Het warmteaanbod wordt in belangrijke mate bepaald door de stroom ruwijzer langs de haardwand.

Stroming langs wand ⇒ warmte aanbod ⇒ onttrokken warmte

Een gegeven stroming van ijzer in de haard legt dus een warmteaanbod aan het koelsysteem vast. Daarom zijn de temperaturen in het vuurvast een indicatie van de stroming in de haard. Slijtage van het vuurvast is onder andere een gevolg van een langdurige blootstelling aan hoge temperaturen.

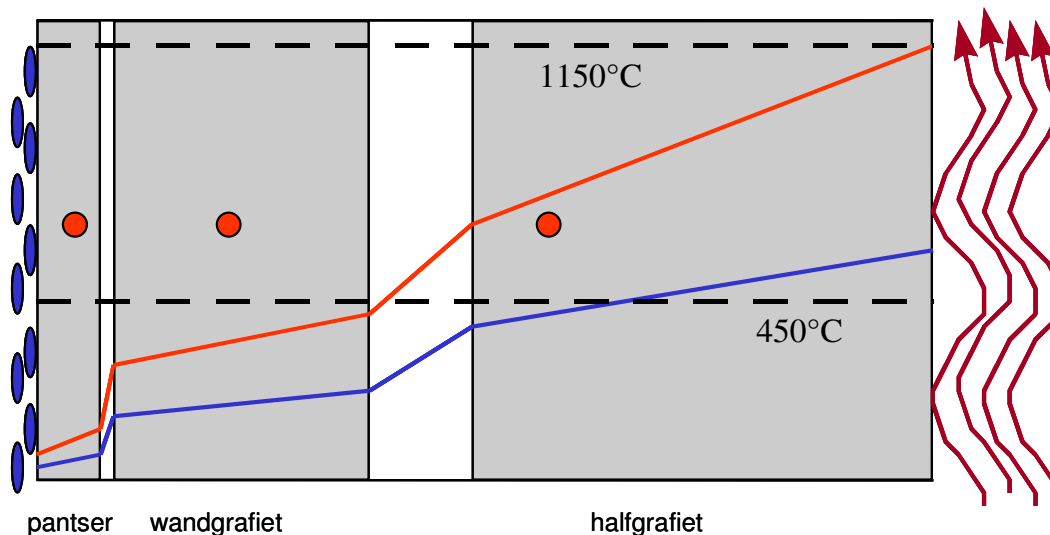
Temperaturen en warmte-flux

Een eenvoudig, een-dimensionaal systeem van het koelsysteem is aangegeven in Figuur 1. Het diagram laat de temperaturen in de haard zien bij verschillende warmtefluxen (60.000 en 30.000 W/m²). In het diagram staan grenzen aangegeven bij :

450 °C: ondergrens voor CO-desintegratie, 1150 °C: ruwijzer stollingstemperatuur.

Door iedere verticale doorsnede is de warmte flux gelijk. Warmte stroomt van rechts naar links in het diagram. De berekening is gemaakt op basis van de warmteflux en de warmtegeleiding van de verschillende onderdelen.

Figuur 1: warmtetransport door de haardbekleding



Uit het diagram kunnen we het volgende concluderen:

Als het warmtecontact op de overgangspunten goed is, dan:

→ blijft wandgrafiet onder de 450°C.

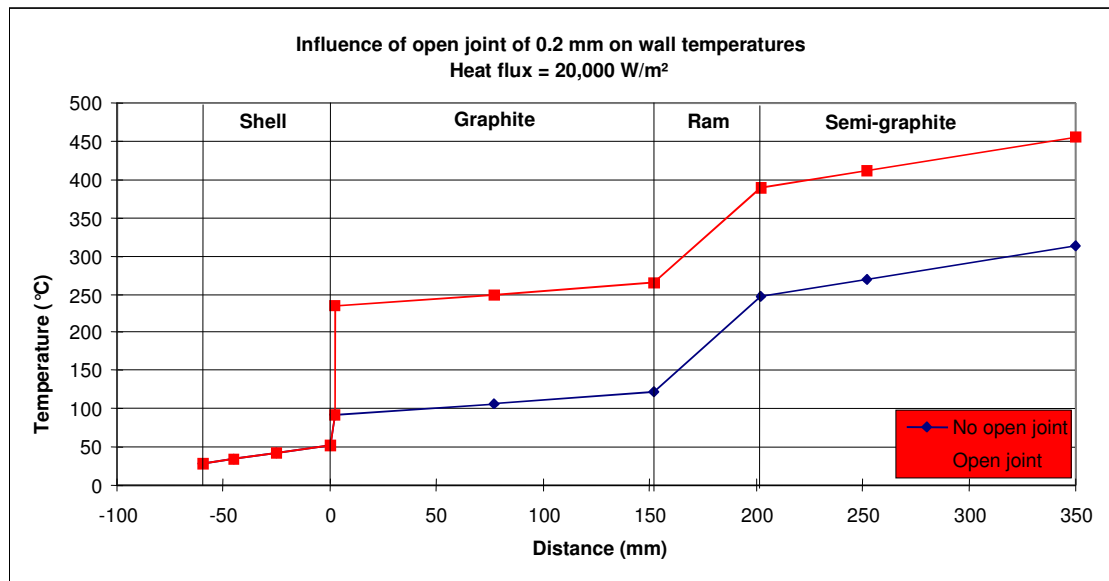
→ het halfgrafiet zal hogere temperaturen halen en gedurende periodes met hoge warmteflux aangetast worden.

→ de tussenliggende stampmassa zal ook uit elkaar vallen (als gevolg van hoge warmteflux, chemische aantasting en verdamping van de binder).

Als de stampmassa-voeg is aangetast en het halfgrafiet is verdwenen, dan zal het wandgrafiet blootgesteld worden aan hoge warmtefluxen; de wandgrafiet kan dit weerstaan, zolang het warmtecontact goed is en de warmteafvoer naar het koelsysteem gewaarborgd is.

Als het warmtecontact echter niet goed is, dan verandert het beeld ingrijpend. In Figuur 2 staat het effect aangegeven van een 0,2 mm spleet tussen pantser en wandgrafiet. De temperatuur stijgt dan met 150°C; in de praktijk worden de warmtefluxen dan weer beïnvloed.

Figuur 2: Influence of gas filled joint on temperatures



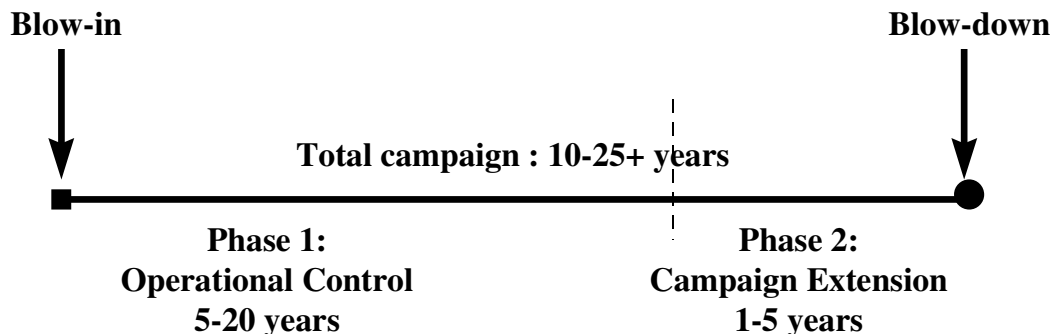
2. Overzicht van de campagne van HO 6

De campagne van de haard kan in twee fases worden gescheiden (Figuur 4): “normale bedrijfsvoering”, de eerste fase, waarin de haard in een goede conditie is en het normale onderhoud aan koelsysteem en instrumentatie wordt gedaan; de tweede fase is de “campagne verlenging”; daarin worden maatregelen genomen met effecten op het hoogovenproces, zoals Ti in het ijzer verhogen, cokes verbruik, productieniveau ed.

Het campagneoverzicht van HO 6 staat in tabel 1. HO 6 is in april 1986 in bedrijf genomen met een voorziene campagne van 10 jaar en 20 mln ton. De campagne is inmiddels verlengd tot 16 jaar en een verwachte productie van 34 miljoen ton.

De campagne verlenging begon bij HO 6 na ongeveer 9 jaar campagne; toen werd ernstige slijtage ontdekt in ongeveer 30% van de haard. De genomen maatregelen hadden betrekking op verbetering van het koelsysteem en op operationele maatregelen.

Figuur 3: Schematisch overzicht van een haardcampagne



Tabel 1: Overzicht campagne HO6; in bedrijf genomen in april 1986

In bedrijf jaar	Voorziene campagne duur (jaar)	Vuurvast conditie	Maatregelen
0	10	Nieuw	
6	12	Slijtage als verwacht: onder tapgat 350-600mm rest 900 mm	Geen
9	14	In 30% van de haard alleen wandgrafiet	Jacket koeling aftapgat oost; verbetering waterdiscipline
11	14	hoge haardtemperaturen	meer temperatuurmetingen betere kooks kwaliteit TiO ₂ gebruik kleinere en afgestopte vormen
12-13	16	haard 150 mm wandgrafiet	Jacket koeling Noord en Zuid gas lekkage van bodem en haard wand
15	16	Onveranderd	lagere koelwatertemperatuur

3. Haard slijtage en bedrijfsvoering

Op twee verschillende gebieden is slijtage in de haard te beschrijven; ten eerste is er "cirkelsymmetrische slijtage": onder in de haard, rondom en "lokale slijtage" in specifieke gebieden in de oven, vooral rond het aftapgat. (Edwards et al, 2001).

Cirkelsymmetrische slijtage

Na 6 jaar campagne was de slijtage in de haard van HO 6 1-2 meter onder aftapgat zoals verwacht; 3 jaar later bleek op een aantal plaatsen de slijtage tot op de laatste 15 cm wandgrafiet te zijn gegaan. De analyse op dat moment wees uit, dat de snelle verslechtering van de haard ondermeer te wijten was aan waterlekkage in de oven. Zoals uit het bovenstaande model kan worden begrepen, is de slijtage doorgedaan tot op het wandgrafiet (9-12 jaar in de campagne) en is de slijtage sindsdien gestabiliseerd.

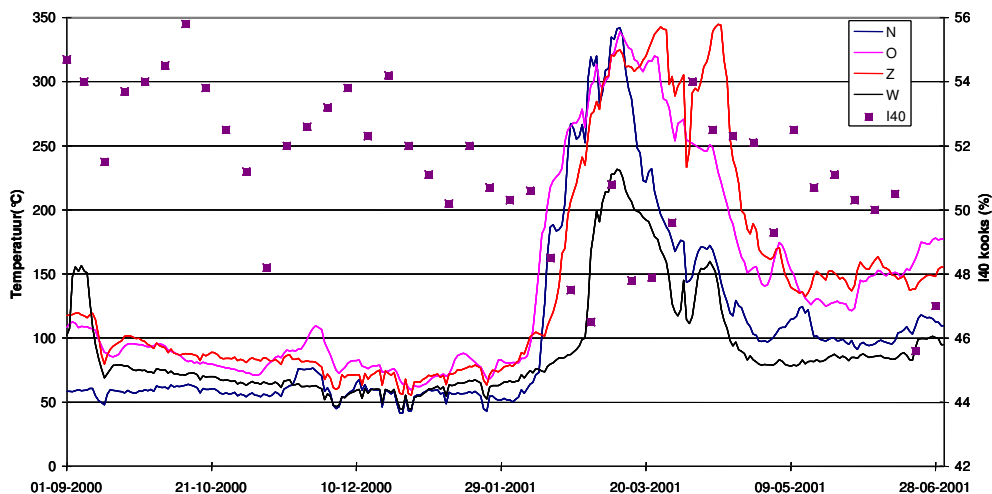
Zodra de eerste indicaties van ernstige slijtage beschikbaar kwamen is een analyse uitgevoerd naar de mogelijke oorzaken.

Uit correlaties tussen vele procesparameters en hoge haardtemperaturen waren weinig duidelijke correlaties te vinden; wel bleek het volgende:

- een stilstand leidt tot een tijdelijke verlaging in de haardtemperatuur;

- korte aftapgaten en hoge slakdekking vallen samen met hoge haardtemperaturen;
 - hoge haardtemperaturen en slechte kookskwaliteit lijken samen te vallen (fig 5); slechte kooks is kooks met een $I_{40} < 50\%$.
 - er lijkt een correlatie te zijn tussen hoge haardtemperaturen en hoog productieniveau.
- De gevonden correlaties werden gebruikt om maatregelen voor campagne verlenging te realiseren.

Figuur 4: Haardtemperatuur en kookskwaliteit



De maatregelen voor campagne verlenging kunnen enerzijds gericht zijn op verbetering van de koeling en anderzijds op vergroten van de aanzetting in de haard.

Verbetering koeling. De belangrijkste maatregelen om de koeling te verbeteren waren:

- goed schoon houden van het pantser (geen corrosie); waterbehandeling zodat geen kalkaanslag gevormd wordt, goed werkende sproeikoeling.
- verlaging van de temperatuur van het haardwater.

Vergroten aanzetting in de haard. De aanzetting aan de “hot face” van het vuurvast is een “stationaire” situatie tussen het vastvriezen van de aanzetting (uit ijzer, titaan etc) en het oplossen van de aanzetting door de stroming van het ijzer en door de samenstelling en temperatuur van het ijzer (Bergsma and Fruehan, 2001). De volgende maatregelen werden genomen:

- sinds 1986 wordt titaan toegevoegd (tot 0,12% in normaal bedrijf en 0,25% bij stilstanden);
- in noodsituaties wordt de oven afgeregegeld of stilgezet;
- wellicht heeft kookskwaliteit een invloed op de haardstroming (Fig 5). De “lege ruimte” tussen de kooksdeeltjes in de haard is echter klein: bij een salamander aftap van HO7 bleek de “lege ruimte” in de haard maar ca 15-20% te zijn.
- aftappen kunnen invloed hebben op de ijzerstroom en de warmteflux naar het pantser; langdurige aftappen leiden tot lokale stroming en “hot spots”; de aftap duur beperken tot ca 2 uur heeft vaak geholpen;
- lange aftapgaten helpen de haardtemperaturen laag te houden, maar leiden ook tot een slechtere haarddrainage (meer aderlatingen, onregelmaat in tapsnelheid).

Maatregelen om de slijtage te beheersen kunnen worden samengevat in een “haardmatrix”; een vereenvoudigd voorbeeld staat hieronder.

Tabel 2: Haard matrix en maatregelen voor Corus IJmuiden HO6; een voorbeeld

Fase	Ti in RIJ	Silicium	Kooks	Afgestopte vormen	Productie niveau
groen	0,10%	Si>0,35%	> 290 kg/t	1-2	7700 t/d
oranje	0,17%	Si 0,45%	> 325 kg/t	max 3-4	6900 t/d
rood	0,20%	Si 0,48%	> 360 kg/t	als nodig	6400 t/d

Lokale slijtage

Het belangrijkste gebied waar lokale slijtage optreedt is het gebied rond de aftapgaten. Daarnaast kunnen lokaal hoge haardtemperaturen optreden door water- of gaslekkage.

Aftapgat

Het gebied rond het aftapgat is het meest kritische gebied van de haard. Dit komt vanwege de hoge stroomsnelheid van het ijzer, de stroom gas en mogelijk ook water naar het aftapgat, de hoge turbulentie door ontgassende stopmassa en de grote variatie in temperatuur en warmtefluxen. De meeste "hot spots" bij een oven worden gevonden in de buurt van de aftapgaten. Corrigerende maatregelen in IJmuiden zijn:

- installatie van jacket koeling onder het afsteekgat;
- beperking gaslekkage door de voorstop door goede reparaties en persen;
- beperking van aftappen tot 120 minuten in geval van hot spots; en een tapgatlengte > 3 m.
- inbouwen van kleinere vormen of afgestopte vormen; in een latere analyse bleek, dat kleine vormen geen effect op de levensduur van de naastgelegen vorm heeft, terwijl een afgestopte vorm dat wel heeft (tabel 2).

Tabel 3: Levensduur vormen naast afgestopte of kleine vormen, HO6, jan 2000- maart 2001

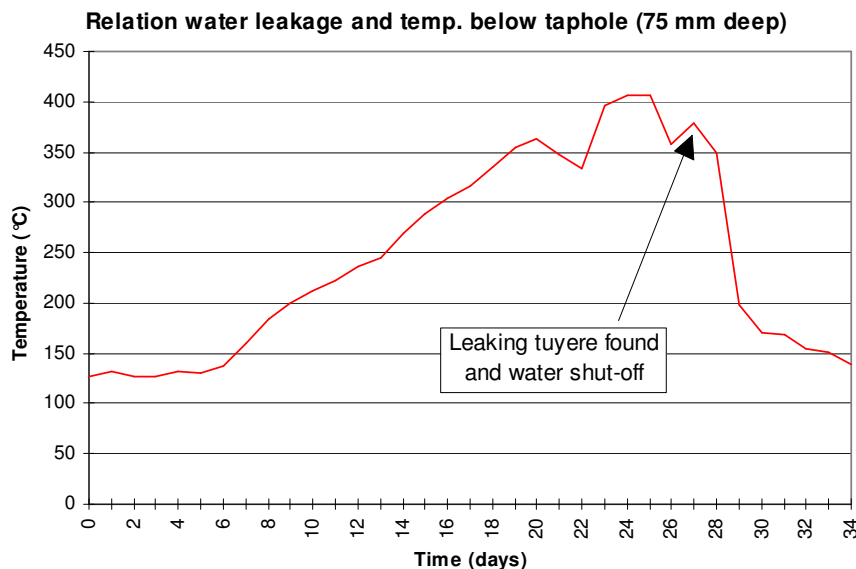
levensduur naast afgestopte vorm	73 dagen
levensduur naast kleine vorm (125 vs145 mm)	170 dagen
levensduur tussen normale vormen	155 dagen

Water lekkage

Het voorkomen van water lekkage in de oven is een belangrijke operationele verantwoordelijkheid gedurende de campagne. Water kan de koolstof van het vuurvast aantasten (>700 °C) en ook leiden tot CO desintegratie (450-700 °C). Waterlekkage kan ook leiden tot lokale explosies en verdwijnen van de aanzetting in de haard. Een voorbeeld hiervan staat in Fig 6, waar waterlekkage waargenomen wordt m.b.v. de thermokoppels. Maatregelen in IJmuiden om de "waterdiscipline" te verbeteren zijn:

- betere instrumenten; met name wordt gas verzameld uit uitstromend water; dit geeft een betere detectiegrens;
- maandelijks preventief waterzoeken door een contractor.

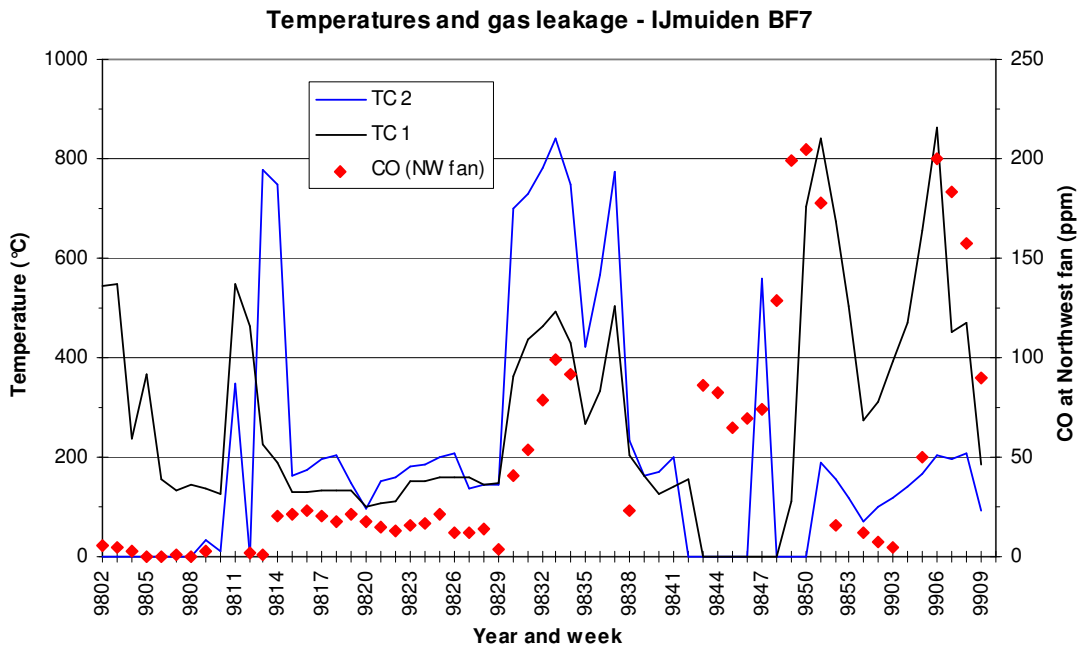
Figuur 5: Voorbeeld van waterlekkage in een vorm en toegenomen haardtemperatuur.



Gas lekkage

Figuur 6 geeft het voorbeeld van gaslekkage door de hardwand en de reactie van de haard. De gaslekkage wordt gemeten in de koelventilatoren van de bodemkoeling. De correlatie tussen gaslekkage en haardtemperaturen geeft aan, dat gaslekkage door de bodem/hardwand ten allen tijde voorkomen moet worden. Waarschijnlijk is de tussenreparatie van HO 7 het gevolg geweest van slijtage door gaslekkage. Gaslekkage door haard/bodem wordt daarom nauwkeurig gevolgd; speciaal doorboringen van het pantser (voor thermokoppels of persstompen) zijn verdacht als gaslekkage optreedt.

Figuur 6: Waargenomen relatie tussen gaslekkage en haard-temperatuur



Hoe wordt lokale slijtage beheerst?

Lokale slijtage wordt beheerst door steeds naar "hot spots" te zoeken. Omdat de resterende wanddikte maar 15 cm wandgrafiet is, is het intact houden van het vuurvast een prioriteit. Zodra de temperatuur van het wandgrafiet boven de 450 °C komt, dreigt CO-desintegratie van het wandgrafiet. Daarom worden bij een lagere temperatuur (350 °C) reeds maatregelen genomen. Om de maatregelen voor te bereiden is een "signalerings temperatuur" voor het wandgrafiet gezet op 250 °C; zodra deze temperatuur wordt bereikt worden maatregelen voorbereid.



Bijlage 7

Ringvormige aanzettingen in de oven

Ringvormige aanzettingen kunnen zich in de oven vormen door bijzondere omstandigheden bv. doordat de slakbasiciteit te hoog wordt of doordat er veel alkaliën in de möller zitten. Hieronder hoe een aanzetting (in dit geval in India) verwijderd kan worden.

De ringvormige aanzetting bestaat uit voorgereduceerd ijzer voornamelijk bestaand uit FeO (niet magnetisch) en ijzerkristallen (magnetisch), de rest bestaat uit een relatief zuur slakaandeel met veel Al_2O_3 (Indisch) en dit alles tezamen gelijmd met zeer forse hoeveelheden alkaliën, overwegend K_2O . Dit is globaal ook de samenstelling van onze "proces huid" met dit verschil dat wij nauwelijks een alkaliëncirkloop hebben, maar wel veel koolstof achter de aanzetting. (tussen aanzetting en bemetseling)

De oorzaak lijkt vrij duidelijk. Begin jaren 60 hadden wij dit ook nog regelmatig totdat we overgingen op een fors aandeel sinter in de möller na de bouw van Sifa 3 en een overmaat aan wanddoorgassing. Op deze wijze wisten we binnen een jaar een nieuwe chamottebemetseling op te vreten.

De oorzaak van het ontstaan van de aangroei ligt in möllerkwaliteit, met name een veel te hoog K_2O gehalte, een hoog stukerts aandeel en daarbinnen veel kleiachtig fijn stof, doordat het stukerts erg zacht is en makkelijk afslijt (Sesa Goa) of door in zijn algemeenheid een te mager afzeving dan wel een zeer slechte Low Temperature Breakdown. (Grote vergruizing in de eerste reductie stap) Kaliumoxyde (K_2O) vormt in de hoogoven een kringloop dwz. beneden is het te warm om makkelijk aanwezig te blijven en boven is het te koud om uit te treden. De onderin gevormde kaliumdamp stijgt op en condenseert op de lading en op de wand. Dat wat op de lading zit komt weer mee omlaag en hervat de kringloop. Het kaliumoxyde dat op de wand zit blijft zitten en vormt met ijzeroxyde, ijzer en slak een dichtgeplakte structuur die de aanbering vormt.

De meeste K_2O wordt met de slak afgevoerd. Een zure slak voert makkelijk K_2O af en een basische slecht. Als de slak zuurder wordt daalt de alkaliëncirkloop en de kalidampspanning. Bij een basische slak blijft K_2O meer en meer in de oven, vergroot de kalidampspanning en de condensatie daarvan op de wand met als gevolg toenemende aanbering. De aanbering zit altijd in de onderschacht omdat daar de omstandigheden voor de alkaliëncirkloop het gunstigst zijn.

N.B. Het element Zink gedraagt zich globaal op dezelfde manier.

Hoe kun je dit voorkomen?

- a) De alkalienspiegel drastisch verminderen door:
 - 1) Verlaging van de K_2O (Zn) input in de oven
 - 2) Verhoging van de opnamecapaciteit van de slak door deze zuurder te maken.
- b) De wanddoorgassing te verbeteren door:
 - 1) De laagopbouw in de oven zo te sturen dat wat minder gas door het centrum loopt en wat meer langs de wand
 - 2) De möller beter af te zeven zodat er minder kleiachtig fijn in het wandbereik wordt gedumpt.
 - 3) Spreiding van de ertsdump bij gebruik van een slagpantser door 50% tegen de wand te dumpen en 50% op een afstand van de wand gelijk aan 10% van de straal (mogelijk 15% van de radius)
 - 4) De kooksdump tegen de wand te houden.

Ad 3 en 4

Als dit onvoldoende is om het centrum dicht te werken dan kan voorts nog worden besloten de laagdikte te vergroten. Als sommige bakken reeds maximaal zijn gevuld dan moet men in schema overgaan naar één bak meer in de dump.

Bv. 3 bakken à 75% vulling = 225% is 12,5% meer dan 2 bakken à 100% vulling.

Het beperkt wel de beladingscapaciteit maar is voor tijdelijk altijd wel te doen.

Bovenstaande overigens uitgaande van een normale "gladde wand" situatie. De vraag blijft hoe die te bereiken.

Er is bij mijn weten maar één echte snelle mogelijkheid en wel "opsmelten met een overmaat aan heet gas" door het doorsturen van een aantal elkaar opvolgende "Cokeblancs" onder gelijktijdig zeer zuur/laagmaken van de slakbasiciteit $CaO/SiO_2 = 0,75$. Durft men dit niet aan in verband met de toestand van de wandbekleding dan is er nog een tussenvorm om resultaat te behalen en wel als volgt.



We vergroten de kookslaagdikte met 50% dwz. van een "twee" naar een "drie" bakkenschema en de ertslaagdikte met 20%, een verlichting van 25%.

De vergroting van de ertslaagdikte uitvoeren met een hoog SiO₂ houdend erts om de basiciteit te drukken. {Indien uitsluitend gravel beschikbaar dan tussen 5 en 15 mm korrelgrootte}

De kooks tegen de wand storten. De ertslaagdikte is vergroot om het centrum dicht te doen lopen met erts en daar een cohesive (weerstand) zone te doen ontstaan. {Mocht dit niet geheel lukken, dan erts met het slagpantser spaarzaam naar binnen sturen}

Als de oven veel te warm wordt dit met stoom in de wind wegdrücken.

We houden dit lang genoeg vol totdat de oven weer een normaal zakgedrag krijgt. Daarna terug gaan naar de in het begin beschreven situatie.

De verwijdering van de aanzettingen is te volgen door temperatuurverschillen tussen inlaat en uitlaat van koelplaten te meten.



Bijlage 8

Testen van sinter, pellets en kooks

We kunnen onderscheid maken tussen de karakteristieken van möllercomponenten vóór de hoogoven (chemische samenstelling, zeefanalyse, koude sterkte) enerzijds en die van het materiaal tijdens zijn gang door de hoogoven anderzijds. Het is duidelijk dat de karakteristieken van de tweede groep slechts kunnen worden vastgesteld met behulp van een experiment waarin de hoogovenomstandigheden in gestyleerde vorm worden nagebootst (metallurgische testen). HOSIM, BRASS, KOSIM en RDI.

Tijdens de gang van een möllercomponent door de hoogoven neemt de temperatuur voortdurend toe en wordt de hoeveelheid gebonden zuurstof kleiner. De mechanische belasting blijft steeds bestaan ($0,5 \text{ kg/cm}^2$).

In het gebied rond 550°C start de reductie van hematiet naar magnetiet. Dit gaat gepaard met een structuurverandering die het materiaal verzwakt. Het is gunstig als bij de reductie van Fe_2O_3 tot metallisch ijzer een hoge gasbenutting ontstaat. Dit vereist een goede reduceerbaarheid. Tijdens deze reductie kan zwellen van pellets optreden, waardoor deze mechanisch zwakker worden en bovendien de vrije ruimte in het bed gaan vullen, ten koste van de doorlaatbaarheid. Dit wordt via olivijninzet onderdrukt. Bij verdere temperatuurstijging treedt verweking op, waardoor de doorlaatbaarheid terugloopt en de reductie met gas wordt belemmerd. Dit mag niet te vroeg gebeuren. Tenslotte smelt het materiaal. Van belang is dat de smeltpunten van de diverse smeltsystemen niet te ver uiteen liggen.

Een belangrijk deel van dit complexe gebeuren wordt bestreken door een aantal testen, die in de boven aangeduide volgorde zullen worden besproken.

Gebrande druksterkte van pellets.

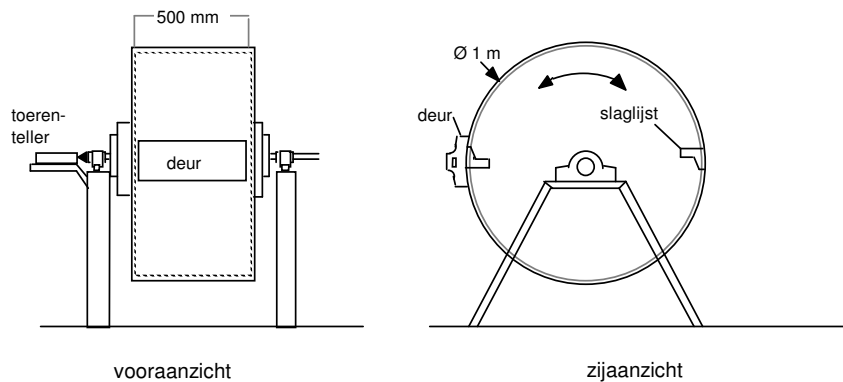
Deze wordt bij Hoogovens bepaald met een Continue druksterkte Apparaat (CDA). Een bemonsteringssysteem neemt elke paar minuten een schepje gebrande pellets van de band, waarvan een deel wordt gezeefd op ca. $11 \text{ mm } \varnothing$ (effectief).

Elk kwartier worden 100 van deze pellets achtereenvolgend door een breker geleid, bestaande uit twee wielen, waarvan er één aan een scharnierende arm is opgehangen. De maximale kracht die op de pellet wordt uitgeoefend (op het moment dat deze bezwijkt) wordt door middel van drukdozen opgenomen. Als gebrande druksterkte wordt het gemiddelde van de serie aangehouden.

ASTM voor pellets (afslijproef)

Deze wordt eenmaal per wacht bepaald in een ASTM-trommel (914 mm diameter, 457 mm lang, twee slaglijsten, 24 r.p.m.)

Grote ASTM-trommel



Men gaat uit van 10 kg pellets 6,36 - 19 mm Ø, afkomstig van het eerder genoemde bemonsteringssysteem. Na 200 omwentelingen wordt gezeefd. Men bepaalt het percentage < 0,6 mm. Deze index geeft aan hoeveel fijn materiaal gevormd wordt tijdens transport e.d.

Tumbler test voor sinter

Hoogovens voert deze test eens per wacht uit. Er is veel overeenkomst met de ASTM-test voor pellets (zie boven). Er wordt echter uitgegaan van 23 kg sinter van >10 mm Ø. Na de test worden de percentages >10 mm en <5 mm Ø bepaald. De norm is 57% of meer boven 10 mm.

** ASTM staat voor American Society for Testing Materials. Ze hebben honderden testmethodieken uitgewerkt en vastgelegd.

Vrije zwelling (Hoogovens).

Het monster bestaat uit 10 pellets van 12 - 13 mm. Deze liggen achter elkaar in een roestvrij stalen schuitje, dat in een kwartsbuis (24 mm diameter) wordt geschoven. De buis bevindt zich in een oven, die op de plaats van het monster een temperatuurniveau van 1050° C in stand houdt.

Tijdens de opwarmfase van de pellets wordt stikstof doorgeleid. Als het monster op temperatuur is wordt zuiver CO doorgeleid, en wel 2 NL per minuut gedurende 30 of 90 minuten. Daarna wordt het schuitje naar een koele plaats geschoven en onder stikstof afgekoeld.

Na afkoeling bepaalt men uit het gewichtsverlies de bereikte reductiegraad. De procentuele volumetoename wordt bepaald door de pellets voor en na de proef onder te dompelen in kwik en de kwikverplaatsing te meten.

De normen voor de vrije zwelling liggen op < 15% bij 30 min. en < 10% bij 90 min.



HOSIM.

In het streven om de grondstoffen te beproeven onder omstandigheden die zo dicht mogelijk de werkelijkheid benaderen maakt Hoogovens gebruik van de "Hoogovens Simulatie" test (HOSIM).

Het hierbij gebruikte apparaat lijkt enigszins op dat van de Burghardt-test. De proef zelf is echter gecompliceerder omdat tijdens de proef niet alleen de gassamenstelling, maar ook de temperatuur voortdurend veranderd wordt volgens een zorgvuldig berekend programma. Deze veranderingen hebben tot doel om tijdens de proef het temperatuursprofiel en de gassamenstelling in een hoogoven zo nauwkeurig mogelijk te volgen vanaf de top tot het einde van de gasreductie.

De temperatuur wordt op vaste tijdstippen vermeld (zie tabel), de gassamenstelling wordt veranderd, zodra het monster tot een bepaald stadium gereduceerd is; dit meet je door de O / Fe verhouding te volgen m.b.v. een balans.

Ieder monster wordt tweemaal getest, telkens met een gassamenstelling die overeenkomt met een bepaald (maar afwijkend) kooksverbruik.

Het monster van 500 gram moet zoveel mogelijk representatief zijn voor de hoogovenlading. Omdat de lading van onze hoogovens voor 49% uit sinter en voor 49% uit pellets bestaat, heeft men de proeven vroeger uitgevoerd met een mengsel van 250 gram pellets en 250 gram sinter. Vandaag de dag wordt de Hosim test vrijwel uitsluitend op sinter uitgevoerd.

Natuurlijk kan men de proef ook uitvoeren voor een geheel andere samengestelde lading, b.v. selffluxing sinter. Dit is gedaan met sintersoorten die op andere bedrijven gebruikt worden, teneinde onze eigen grondstoffen daarmee te kunnen vergelijken. Zie voor de volgende beschrijving ook het schema van de experimentele installatie en van de proef op volgende bladzijde.

Het monster van 500 gram wordt geplaatst in een roestvrijstalen buis die dubbelwandig is uitgevoerd, het geheel hangt in een oven waarvan de temperatuur zo geprogrammeerd kan worden, dat het temperatuurprofiel van de hoogoven zo goed mogelijk benaderd wordt, zie de tijd/temperatuurstabel. De buis is bevestigd aan een balans waarmee de hoeveelheid verwijderde zuurstof continu bepaald kan worden. Aan de hand van de gemeten waarden wordt de samenstelling van het gas in 10 stappen gewijzigd en wel zodanig, dat de te volgen richtlijn (A) zo goed mogelijk benaderd wordt.

Deze wijzigingen komen tot stand met behulp van meters en regelaars en worden gecontroleerd door een infra-rood analyse. De gasstroom door het monster wordt om de 3 minuten van richting veranderd om het monster gelijkmatig te reduceren.

De tijd die nodig is om de O / Fe - verhouding te bereiken, die overeenkomt met het einde van de gasdirecte reductie, wordt opgenomen. Het monster wordt hierna getrommeld en de fraktie < 3,15 mm bepaald.

Met de uitkomsten van deze test kan men de reduceerbaarheid van een bepaalde hoogovenvulling vergelijken met die van andere samengestelde ladingen. Daarnaast geeft de test nog informatie over de mate van vergruizing tijdens en na de reductie.

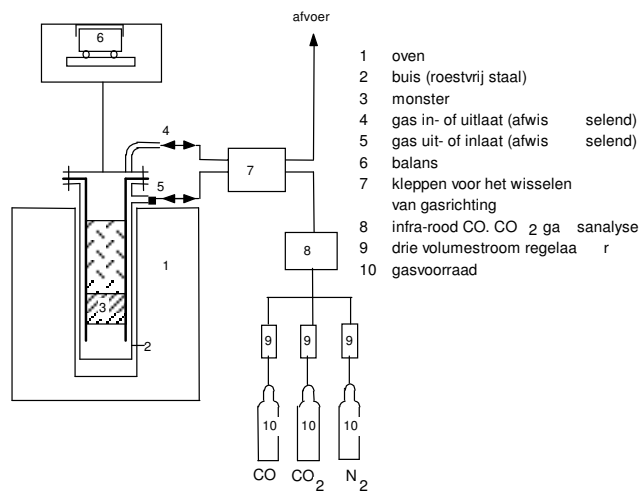
De norm voor de HOSIM-vergruizing is gezet op 18% gemiddeld.

FIGUUR 6.8

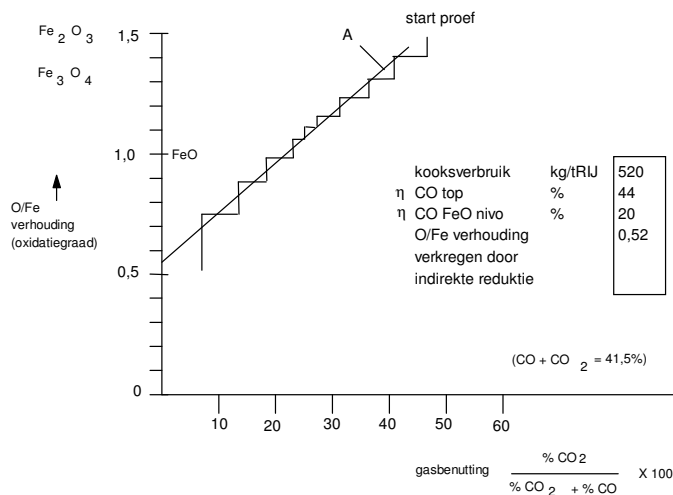
TIJD / TEMPERATUURSTABEL

tijd in min.	0	10	60	130	200	280	340	360
temp. in °C	400	450	715	870	960	980	1065	1125

schema van het "HOSIM" ap paraat



experimentele benadering van de richtlijn A
in 10 stappen





Naast deze testen voor sinter en pellets zijn ook voor het hoogovenproces van belang:

- de chemische samenstelling en vochtgehalten
- de korrelgrootte-verdeling.

Bij Hoogovens maken we zogenaamde olivijn-pellets. Deze pellets bevatten ca. 1,5 % MgO, ca. 0,2% CaO en 3,15% SiO₂. Teneinde een goede, basische slak in de hoogovens te produceren, moet de sinter een kalkoverschot hebben; we produceren dan ook zogenaamde "super-fluxed"-sinter met 9 à 10% CaO. Super-fluxed betekent dat er meer flux (= CaO) aanwezig is dan nodig voor de eigen zure bestanddelen. Deze overmaat compenseert het gebrek aan CaO van de pellets en de kolen- en kooksas.

Verder is van belang, dat de totale hoeveelheid vocht die met de möller de hoogoven in gaat beperkt blijft. Daarom zijn er ook normen voor de vochtcijfers. In de praktijk blijkt het overigens moeilijk om deze normen te realiseren voor sinter en pellets, die van opslag komen.

Kooks

Naast de chemische samenstelling en de zeefanalyse is vooral de mechanische sterkte van belang. Eén van de functies van de kooks is het dragen en doorlaatbaar houden van de ladingkolom in de hoogoven. Door mechanische belasting kan hier breuk en vergruizing van de stukken kooks optreden. Bij hogere temperatuur wordt de kooks bovendien aangetast door reactie met CO₂ en H₂O, waardoor de mechanische sterkte afneemt.

Aangenomen wordt dat het gedrag van de kooks in de hoogoven in zekere mate kan worden beoordeeld aan de hand van de koude sterkte. Voor de bepaling hiervan zijn verschillende testmethodes in gebruik, waarvan enkelen zullen worden beschreven.

I₁₀ en I₄₀

Bij KF2 wordt tweemaal daags en bij KF1 eenmaal per dag een monster van 400 liter genomen, en wel na zeven. Per monster wordt 50 kg in bewerking genomen, waaruit de fraktie <20 mm Ø is verwijderd.

Deze kooks wordt gedroogd bij 105° C en vervolgens gemaltraiterd in een roterende trommel (Micumtrommel, 1000 x 1000 mm), voorzien van vier slaglijsten, die de stukken kooks over een bepaalde hoek meenemen en vervolgens laten vallen. De trommel draait 500 maal rond in 20 minuten. Daarna wordt gezeefd. Het percentage >40 mm Ø wordt aangeduid als I₄₀ en het percentage <10 mm Ø als I₁₀.

De I₄₀ hangt af van de grofheid van de kooks vóór de test en verschilt dus ook van kooksbatterij tot kooksbatterij. De grofheid van de korrel wordt ook aangegeven door de fraktie <40 mm aan te geven bij de kooksfabriek. De I₁₀ is de beste maat voor de sterkte, die we nu hebben. Normen voor kooks staan hieronder aangegeven. Verder berekenen we de gemiddelde korrelgrootte.

Sterkte	Norm	Resultaat 2000	
		KF1	KF2
I ₁₀	< 20%	19,6 %	19,4 %
I ₄₀	> 52%	44,8 %	53,7 %
Korrelgrootte			
Zeefanalyse			
< 40 mm		35 %	16 %
korrelgrootte		50 mm	62 mm
Samenstelling			
Vocht	5%	4,9 %	3,5 %
As		9,5 %	9,5 %
S		0,67 %	0,67 %

Teneinde de kooks ook onder hoogovenomstandigheden te kunnen testen, wordt thans een kookstest ontwikkeld, die vergelijkbaar is met de HOSIM test voor sinter en pellets.



Corus Strip Products IJmuiden
Manufacturing Hoogovens

Het Hoogovenproces

Hoofdstuk : 07 bijlagen

Revisienummer : 01

Datum uitgifte : 12-2001

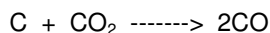
Bladzijde : 48 van 7



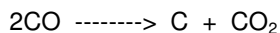
Bijlage 9

Omtrent Chemische Reacties.

Stoffen kunnen met elkaar reageren, bijvoorbeeld het reageren van koolstof met kooldioxide (koolzuurgas) tot koolmonoxide:

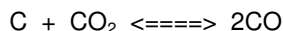


Zo'n reactie verloopt met een zekere snelheid: de reactiesnelheid (dat is het aantal moleculen of atomen dat per tijdseenheid wordt omgezet of gevormd). Iedere chemische reactie is in principe omkeerbaar, dus ook de onderstaande reactie kan verlopen:

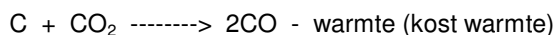


Ook deze omgekeerde reactie verloopt met een bepaalde reactiesnelheid. Hoe snel een reactie verloopt, wordt wel de reactiekinetiek genoemd.

Als evenveel moleculen CO door de eerste reactie gevormd worden als er door de tweede reactie verdwijnen, dan bestaat er evenwicht; dit wordt aangegeven als:



De ligging van het evenwicht kan verschuiven; in het algemeen is de ligging van het evenwicht alleen afhankelijk van de temperatuur en van de hoeveelheden moleculen / atomen per volume-eenheid. Bij een hogere temperatuur verschuift de ligging van het evenwicht naar de endotherme kant (warmte kostend). Als we bovenstaande reactie weergeven door:



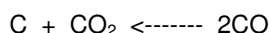
dan verschuift het evenwicht bij verhoging van de temperatuur naar de kant van het CO.

Een exotherme reactie is een reactie, waarbij warmte vrijkomt; een endotherme reactie is een reactie, waarvoor warmte nodig is.

Zoals boven staat vermeld, is de ligging van het evenwicht afhankelijk van het aantal atomen/moleculen per volume-eenheid. Bij verhoging van de druk verandert met name het aantal deeltjes per volume-eenheid van de gasvormige stoffen.

Bij verhoging van de druk verschuift het evenwicht naar de kant met het minste aantal gasmoleculen /atomen.

Het evenwicht:

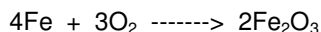


verschuift dus naar links bij verhoging van de (top)druk.

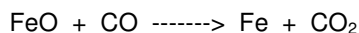
In zijn algemeenheid kan gezegd worden, dat bij een verandering in de externe omstandigheden, een evenwicht verschuift in die richting, waarin de aangebrachte verandering wordt tegengewerkt.

Voor het hoogovenproces zijn de begrippen oxidatie- en reductiereactie belangrijk. Oxidatie van ijzer is roestvorming. Oxidatie is oorspronkelijk het reageren met zuurstof, bijvoorbeeld:

Oxidatie van ijzer:



In de hoogoven vindt reductie van ijzererts plaats, bijvoorbeeld door de onderstaande reductiereactie:



Oxidatie en reductie kan ook (zelfs beter) gedefinieerd worden als het afstaan resp. opnemen van elektronen; voor onze toepassingen is het echter voldoende om oxidatie als het verbinden met zuurstof te zien en reductie als het onttrekken van zuurstof.