

烧 结 炼 铁

译 文 集

武钢科学技术情报研究所

一九八九年

烧结炼铁译文集

目 录

· 烧 结 ·

荷兰霍戈文·艾莫依登钢铁公司对烧结矿质量的定义及其控制

.....〔荷〕 E. Keddeman 等
李益慎 译 廖国瑞 校 (1)

最佳高铁烧结矿——一种优质炼铁原料

.....〔瑞典〕 S. Ajmal 等
李益慎 译 廖国瑞 校 (9)

日本对作为炼铁炉料的烧结矿的经济评价

.....〔日〕 石川安志
李益慎 译 廖国瑞 校 (18)

烧结机生产能力的提高及对高炉操作的影响

.....〔美〕 J. F. Stubel
廖国瑞 摘译 胡光潜 校 (22)

水岛厂 4 * 烧结机的高料层操作

.....〔日〕 松本键一 等
李益慎 译 廖国瑞 校 (28)

西德蒂森钢铁公司烧结厂生产节能和余热利用

.....〔西德〕 H. Beer 等
廖国瑞 摘译 (32)

铁矿石烧结的能耗下限及双层点火烧结工艺

.....〔日〕 佐藤骏 等
廖国瑞 译 胡光潜 校 (34)

烧结工艺检测仪表

.....〔法〕 C. Huguet
孙 芹 译 付吉臣 校 (45)

• 炼 铁 •

扇岛 1 * 高炉大量使用小粒度烧结矿的技术

.....〔日〕 中岛龙一 等

胡光潜 译 高凤歧 校 (52)

高炉喷煤控制的最佳化

.....〔西德〕 K. Langner 等

胡光潜 译 廖国瑞 校 (60)

鹿岛 3 * 高炉操作状态仍然良好

.....〔日〕 高田小池 等

杨来鹏 译 廖国瑞 校 (63)

使用模型对高炉燃料消耗和生产率的影响

.....〔西德〕 K. H. Peters 等

杨来鹏 译 李常性 校 (72)

高炉条件下碱金属行为的新观点

.....〔美〕 J. W. Currier 等 (79)

郭智煌 译 吴潮元 杨来鹏 校

高炉应用圆柱冷却器的设计思想

.....〔卢森堡〕 A. J. Dzermejko (87)

胡光潜 译 廖国瑞 校

荷兰霍戈文·艾莫伊登钢铁公司 对烧结矿质量的定义及其控制

(荷兰) E. Keddeman 等

摘 要

本文介绍了霍戈文厂近五年来,对烧结矿的质量所作出的进一步的定义。并对新近开发的高炉模拟试验(HOSIM)及其在生产上应用作了说明。文中还将对烧结厂的控制效果和高炉生产提出讨论。生产试验的烧结混合矿用的是赤铁矿。当以HOSIM试验定义的烧结矿质量保持稳定时,由于烧结矿化学性能适应高炉需要,因而成功地进行了低渣量操作。否则就不可能对高炉产生效果。

1. 前 言

霍戈立钢铁厂位于荷兰海岸,其港口吞吐能力为15万吨。大部分原料来自海外,其中铁矿石约7.2* 百万吨;焦炭和喷吹用煤约3.0百万吨及其它原料1.2百万吨。

炼铁系统主要组成为:

一个电厂;

两座焦炉;

一座球团厂和一座烧结厂;

五座高炉(6* 高炉炉缸直径11米;7* 高炉炉缸直径13米)。

球团厂于1970年投产,目前产量为4.0百万吨/年。

球团矿生产是用8-12种矿石进行配料的,熔剂为橄榄石。

烧结厂的产量大约为4.0百万吨/年。高炉炉料组成中的48%为球团矿,48%为烧结矿。烧结矿和球团矿的化学成分见表1。

烧结矿和球团矿的化学成分(%) 表1

	产量 (百万吨/年)	Fe	FeO	SiO ₂	MgO	CaO/SiO ₂
烧结矿	4.0	56	9.7	5.2	1.8	2.35
球团矿	4.0	65	0.3	4.0	1.8	0.05

现有五座高炉,其中三座高炉在生产,

每周生铁产量约10万吨。

2. 烧结厂的特点

配矿主要从经济和工艺上考虑,但其基本组成是:35%的红土矿;

11%的磁铁矿;

33%的铁精矿;

21%的厂内回收料。

图1为烧结厂流程示意图。图中还包括了中和料堆部分。该厂有三台带式烧结机(代号为11, 21和31),其有效烧结面积分别为90米², 132米²和132米²。三台烧结机共用这个中和料堆。除铁料外,还添加返矿、焦粉、生石灰和少量石灰石。尽管烧结厂采用低负压(低于1300毫米水柱)操作,但单位产量相对地比较高。图2表示该厂与欧洲其它烧结厂的单位产量比较。

霍戈文厂的单位产量高,是因为它生产高碱度烧结矿,用橄榄石取代白云石,以致返矿率低。

与此同时,点火器的结构也有助于降低返矿率。烧结厂连续五年保持高产水平(90,000吨/周),发挥了最大能力。

3. 烧结矿质量的定义

烧结矿质量特性由以下因素组成:

- 化学成分;
- 物理和冶金性能;

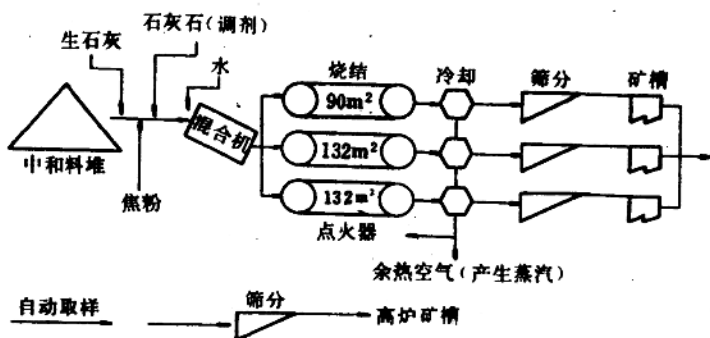


图1 烧结厂流程示意图

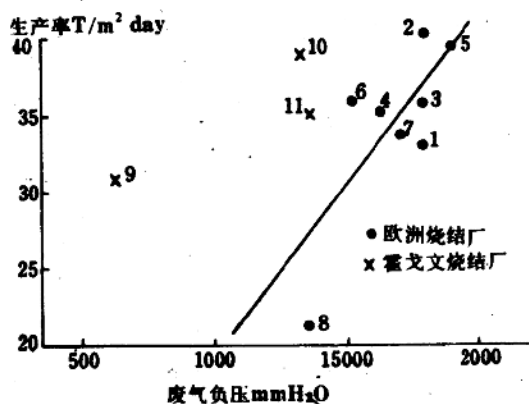


图2 废气负压对生产率的影响

• 质量参考的规律性;

3.1 化学成分

烧结矿的化学成分,是影响高炉炉渣碱度的极重要的因素。

长期以来,以 $(CaO + MgO) - 1.45 \cdot SiO_2$ 来定义的氧化钙过剩率,一直是通过调节混合料中石灰石的配入量来控制的。

3.2 物理和冶金性能

直到1983年以前,都是以冷强度作为最重要的烧结矿质量指标。为了获得最高的冷强度,对混合料中焦粉的用量进行了调节。同时,为了改善还原性,而希望烧结矿中 FeO 含量低。还原粉化(RDI)值是高的(35—45%—3.15毫米)。烧结矿质量指标如图5

所示。图中还标明了1983年前的数据。

对于造块,目前还没有满意的试验方法,因为现有的试验条件距离实际生产条件还相差甚远,所开发的一项试验室试验是模拟910℃时高炉条件,研究高炉炉料的还原效果和炉料在还原期间及还原后的强度。

试验装置框图如图3所示。试验条件满足了高炉的基本要求,还原气体成分是根据还原反应的进程来调整的。

通过高炉模拟试验(称为HOSIM),我们可以将霍戈文厂生产的烧结矿的粉化值与其它烧结厂生产的烧结矿进行比较。

图4a示出几种类型烧结矿的RDI(还原粉化值与HOSIM试验的RDI值之间的关系。

(数字表示霍戈文厂的料堆号,字母表示从其它公司采来的烧结矿试样)。很明显,对于某些烧结矿来说,尽管RDI值还是较高的,但经HOSIM试验后的粉化值可能相当低,从而发现霍戈文厂的烧结矿的HOSIM的粉化值与RDI值之间亦存在着一定的关系。

所以,RDI的目标值是根据每天的生产情况而规定的。霍戈文厂烧结厂的HOSIM试验粉化值的目标值定为<15%(-3.15毫米粒级)。从图中可看出在1984年和1985年,要达到这一目标值,必须使RDI值达到25%(图5中的第II阶段)。

反复多次对HOSIM试验粉化值和RDI

之间的关系进行比较之后得出的结论是,这两项指标之间的关系取决于烧结矿的化学性能和所使用的混合矿。这种关系可以从图4b中看出,图中示出烧结杯用不同的混合矿生产出来的,不同的化学成分的烧结矿的RDI值与HOSIM粉化值之间的关系。

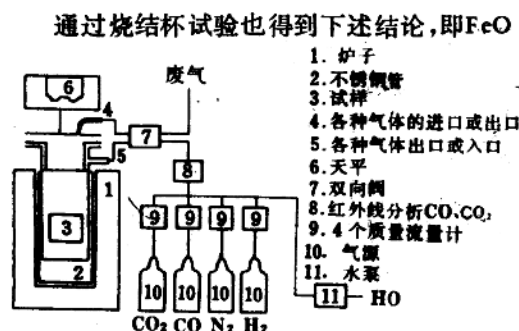


图3 模拟高炉试验的实验装置

含量与HOSIM的关系与烧结矿的化学性质并无多大关系。况且烧结矿中FeO是一个比RDI更加实用的控制参数。因此,1986年以来,该厂烧结矿质量是通过烧结矿中FeO含量进行控制的。

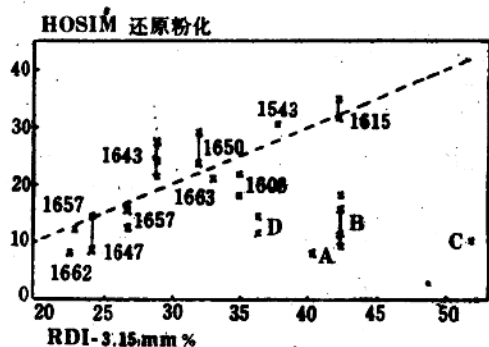


图4a HOSIM试验的粉化值与RDI值（工厂生产的烧结矿）之间的关系

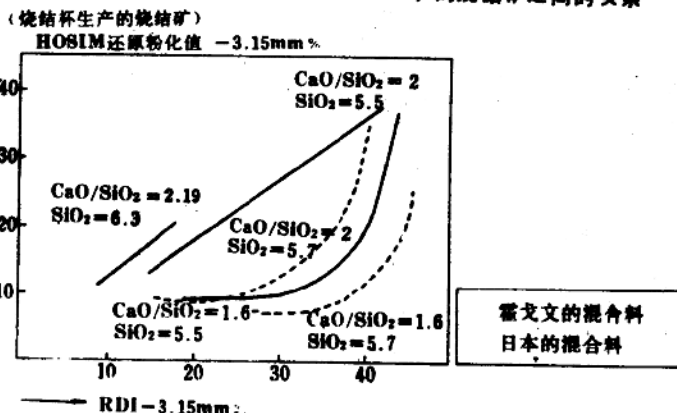


图4b HOSIM试验的粉化值与RDI值（烧结杯生产的烧结矿）之间的关系

3.3 质量参数的规律性

为了稳定高炉生产,炉料质量的恒定是十分重要的。

为了控制质量波动,安装了一台烧结矿自动取样机。

烧结矿取样机的说明

烧结矿取样装置的流程见图6。

由三台带式烧结机生产的烧结矿,经冷

却后进行第一次筛分,再将烧结矿卸到三个隔开的分叉式矿槽内,从矿槽出来的烧结矿送去进行二次筛分,筛后的烧结矿运往高炉矿槽。

在二次筛分前设置取样机。在21号和31号烧结机后各有两个250吨的矿槽(相当于21号和31号烧结机一小时的烧结矿产量)。一个矿槽卸矿时,取两个约1200公斤的矿样。

第一个样用来作筛分及物理和冶金性能

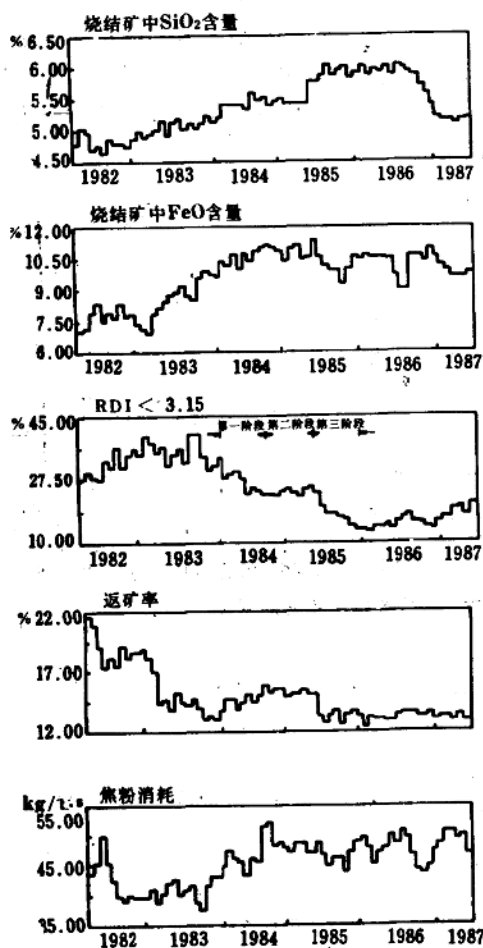


图5 烧结矿特性 (1982-1987)

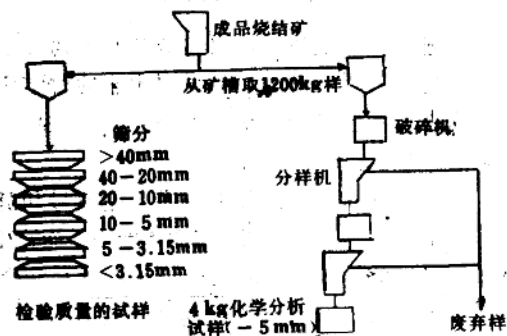


图6 烧结矿自动取样装置

试验的备样。第二个试样作为化学分析的备样。这样。每四小时就可以化验出一次烧结矿中CaO、Al₂O₃、MgO、SiO₂、Fe和FeO含量。

4. 日常烧结矿质量控制

化学成分是通过控制石灰石添加量,以获得稳定的CaO 剩余量,即烧结矿中 (CaO + MgO) - 1.45* SiO₂ 含量为6.2%。图7所示为一个月的控制结果。

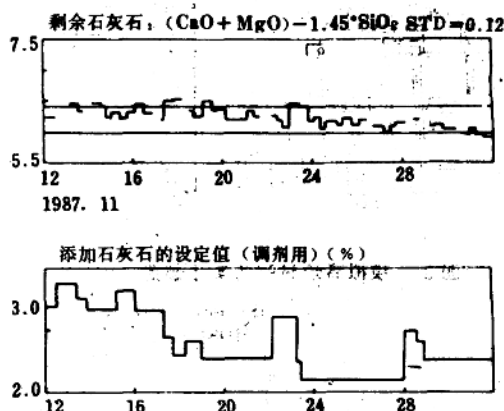


图7 烧结矿化学性质的控制

能说明烧结矿冶金性能最重要的指标是HOSIM试验后的烧结矿粉化值。

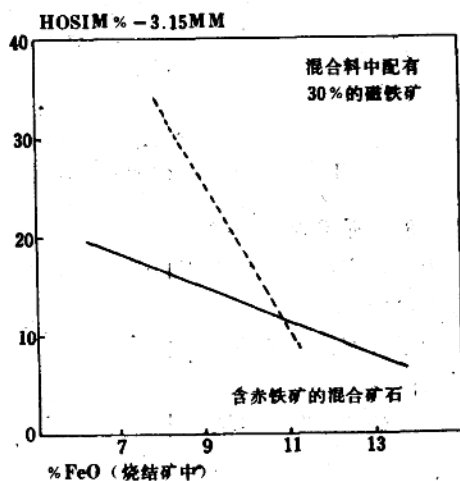


图8 HOSIM还原粉化值与烧结矿FeO含量之间的关系

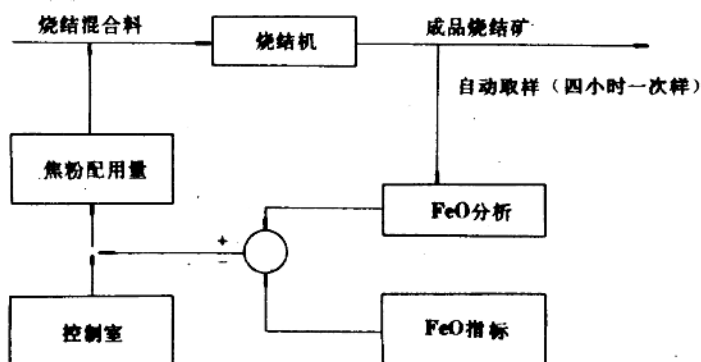


图9 日常生产过程FeO控制系统图

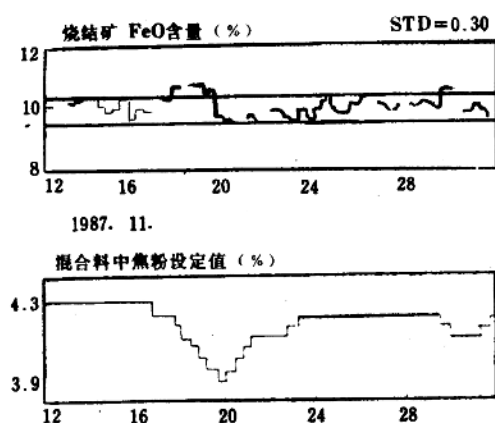


图10 烧结矿控制FeO含量的事例

这种试验不适用于日常生产控制。正如图8所示，烧结矿中FeO含量与烧结矿HOSIM试验后的粉化值之间有良好的相关关系。因此，烧结矿的FeO含量被定为日常质量控制指标。

FeO的控制

烧结矿FeO含量通过焦粉用量进行调节，使其控制在上、下限之间。控制框图如图9所示。图10所示为一个月中烧结矿FeO含量变化情况之一例。焦粉用量以0.05%的幅度为一级进行调整。

5. 烧结矿质量的长期控制指标

有时还必须改变混合矿石的成分或烧结

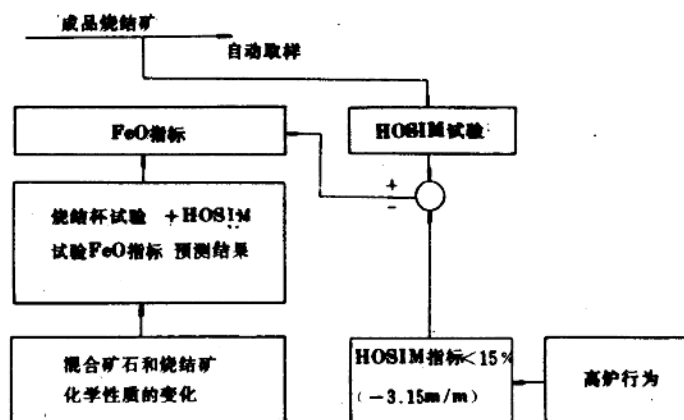


图11 长期烧结矿质量控制图

矿化学成分。

为了保持烧结矿质量对高炉生产的稳定,调整烧结机的操作是十分重要的。保持稳定的HOSIM试验粉化值,有助于提供这些条件。图11所示为长期质量控制指标。在生产中是采取下列步骤来改变混合矿石或烧结矿化学成分的:

1) 为了测定出烧结矿的FeO目标值,并使HOSIM试验之后烧结矿粉化值保持稳定,而进行烧结杯试验。

2) 在根据HOSIM试验作了改变后的第一周内要加强取样,如有必要,为保持HOSIM试验后烧结矿的粉化值稳定,还应使FeO的目标值与之相适应。

6. 烧结机操作的改进及对高炉影响的实例

- 配入赤铁矿期间;
- 降低高炉渣量;

6.1 配入赤铁矿期间

霍戈文厂的矿石混合料中配有30%的磁铁矿。为了试验配入100%的赤铁矿是否影响烧结和高炉生产,而进行了工业性试验。此外,还进行了褐铁矿的替换试验。烧结杯试验结果表明,使用赤铁矿混合料时,FeO指标从10.5%下降到约9.0%,其HOSIM试验后的烧结矿粉化值定为15%(-3.15毫米粒级)。在图8中说明了两种矿石混合料的FeO和HOSIM粉化值之间的关系。

烧结厂的生产结果见表2。生产率没有变化。烧结矿中FeO含量有所下降,主要是由于烧结矿中原有成分发生了变化,矿相观察结果示于表3。

这两种类型的烧结矿的熔融特性是相似的。图12中还标明了配用赤铁矿期间的情况。并能从烧结矿中FeO含量的急剧变化辨别出来。图12还表明用HOSIM试验测定的烧结矿的还原性没有什么变化。

在试验期间,球团矿和焦炭质量应保持稳定,并要求高炉内炉料下降时通过炉墙的

热损失少,且炉料下降均匀。

对烧结厂生产的影响 表2

	赤铁矿 期 间	基准期	1987年4月 低渣量期
生产率 (t / m ² · 24h)	37	37	37.4
返矿率 (%)	14.1	14.1	13.8
焦粉消耗 (kg / t · s)	51	48	48.5
水分 (%)	5.7	6.2	6.1
负压 (mm H ₂ O)	1230	1220	1264
冷强度 (+10mm %)	56	56	61.5
RDI (-3.15mm %)	18.7	16.5	17.9
HOSIM粉化值 (-3.15mm %)	16	16	14.1
HOSIM还原 时间(分)	200	200	180
烧结矿化学组成 Fe (%)	54.87	54.40	55.73
FeO (%)	8.98	10.59	10.09
αFeO (%)	0.36	0.55	0.38
SiO ₂ (%)	6.11	6.03	5.14
CaO (%)	12.89	12.82	12.01
MgO (%)	2.33	2.41	1.89
Al ₂ O ₃ (%)	1.33	1.15	1.19

烧结矿在基准期和赤铁矿期间的矿物组成
(体积 %)

表 3

	基准期	赤铁矿期间
原生赤铁矿	0.5	4.3
次生赤铁矿	5.4	6.6
其它赤铁矿	3.6	2.5
原生磁铁矿	6.2	0.3
次生磁铁矿	27.5	25.9
SFCA (板条状)	20.1	21.3
SFCA (针状)	11.7	10.0
SFCA (树枝状)	8.9	12.3
其 它	16.1	16.8

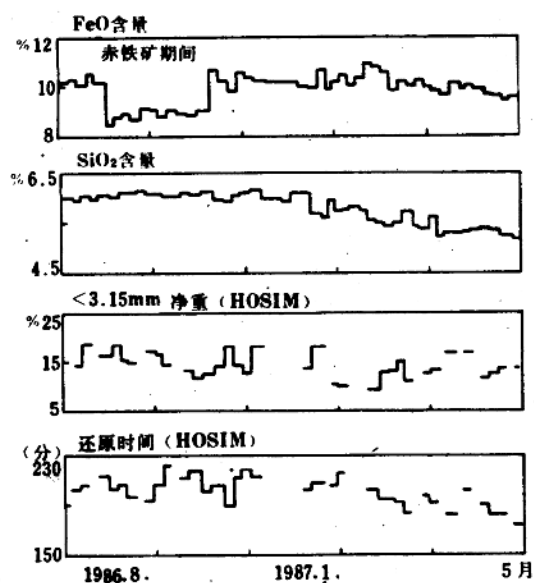


图12 试验期间烧结矿质量的变化情况

7号高炉在基准期、赤铁矿期和低渣量期的操作特性

表 4

	赤铁矿	基准期	低渣量期
生产率 (t / 24h)	8500	8000	7940
焦 比 (kg / t · 铁)	409	402	394
煤 比 (kg / 吨铁)	95	102	108
炉顶煤气利用率 (%)	47.8	47.6	48
鼓风量 (Nm ³ / 吨铁)	1011	1033	1070
鼓风温度 (°C)	1268	1281	1268
Si (%)	0.54	0.48	0.45
σSi (%)	0.15	0.14	0.12
S (%)	0.026	0.027	0.028
铁水温度 (°C)	1507	1492	1500
σT °C	25	24	22
渣 量 (kg / 吨 · 铁)	280	285	266
热损失 (mJ / THM)	235	257	244
碱负荷 (kg / THm)	2.7	3.3	2.9
崩料 (次 / 天)	0.5	0.9	0.4

表4列出7号高炉的生产概况。

由于改变了矿石混合料成分,高炉碱负荷从3.3公斤/吨铁水下降到2.7公斤/吨铁水。

基准期和试验期的燃耗是相近的,均为497公斤/吨·铁水。

试验期间炉料下降呈更加均匀的趋势,并具有良好的透气性。通过十周时间所得到的主要结论是:采用赤铁矿混合料,对高炉燃料比没有任何影响。而长时间使用赤铁矿混合料则稍有积极效果,用料的规律性愈好,对高炉操作过程的控制也就愈好,从而燃料比就愈低。

6.2 高炉渣量的降低

在参考文献〔2〕〔3〕中已报导高炉渣量可降低到150—250公斤/吨·铁水。多年来,霍戈文高炉渣量保持在285公斤/吨·铁水的水平。高炉渣量和炉渣化学成分是通过向烧结和球团的混合料或高炉本身加添加剂来进行控制的。炉渣在出渣时必须具有良好的流动性,炉渣粒化后应适宜作水泥工业的原料。烧结杯试验结果表明,改变烧结矿的化学成分可减少高炉的渣量。

通过调整烧结矿的FeO含量,可使HOSIM试验后的烧结矿粉化值保持稳定。如果烧结矿SiO₂含量从6.0%降低到5.0%,则生产率不会发生变化。

1987年以来,由于调整了烧结矿的化学成分,使高炉渣量降到265公斤/吨·铁水。烧结厂生产结果见表2。SiO₂含量的变化情况见图12。烧结矿的RDI值稍有增加。当FeO含量为10.5%时,与相关的还原后的HOSIM粉化值为15%(-3.15毫米粒级)。从图12中可看出,由于在HOSIM试验中还原时间较短,故说明烧结矿的还原性高。烧结厂的生产结果是令人满意的。因为在烧结混合料中配入的石灰石和橄榄石量有所减少,而使生产成本有所下降。

从表3可以看出,高炉炉况并没有因为

渣量的减少,而发生明显的变化。从而得出的结论是:实际生产中渣量为265公斤/吨·铁水,还并不是工艺技术上的最低水平。因此,为了使渣量降低到250公斤/吨·铁水以下,在提高烧结矿的还原性、粉化性、熔融性,或至少是使它们保持不变的条件下,通过调节球团矿和烧结矿的化学成分来降低渣量,而进行了试验研究。

7. 对7号高炉生产结果的评述

由于对烧结矿质量作了定义,而使这项理论得到发展,从而为高炉的良好控制提供了基础。图13示出7号高炉的操作结果。尤其是近年来需要高产(8000吨/24小时左右)。

通过以上措施,不仅达到高产而且高炉热损失小,生铁质量也好($\sigma \text{SiO}_2 < 0.15$)。

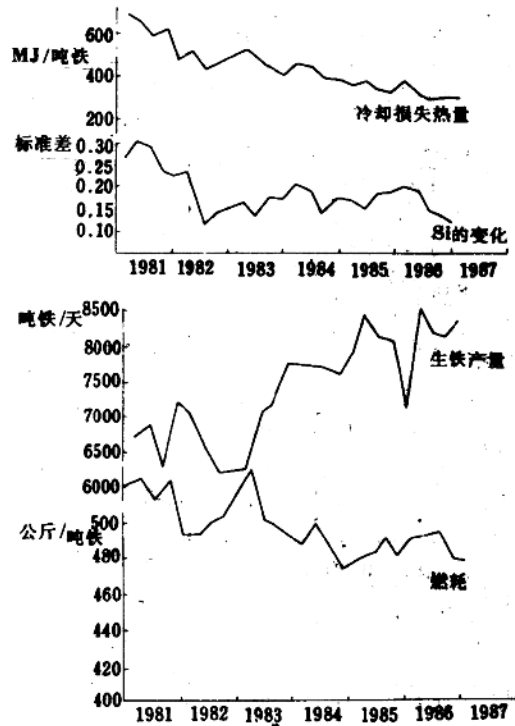


图13 7号高炉生产结果

最佳高铁烧结矿——一种优质炼铁原料

[瑞典] S. Ajmal 等

一、前言

长期以来,高炉工作者就希望能生产出一种含铁量高(65—66%)的铁矿石炉料,从而使冶炼过程中产生的渣量少、燃耗低。但迄今为止,还不能生产出现代高产高炉所需要的含铁量高于59—60%的烧结矿。

本文对生产最佳烧结矿的可能性,即对生产出一种含铁量高,并具有高炉冶炼渣量低的最佳性能的熔剂性烧结矿的可能性进行了探讨。这种烧结矿同时也必须满足强度、还原性、软化特点和熔融性方面的要求。

二、原料

试验研究所用的原料有LKAB Malmberget (MAF)的磁铁矿烧结粉矿,Grängesberg Granulated 粉矿(GGAF)和Itabira赤铁矿烧结粉矿。其筛分分析结果列于表1,化学成

成分列于表2。

试验用铁矿粉的筛分分析

表1

筛孔,mm	通过率 %		
	MAF ^a	GGAF	Itabira
5.6		88	84
4.0		78	77
2.0		60	69
1.0	99	48	63
0.5	79	40	56
0.25	41	32	49
0.125	18	25	38
0.063	8	15	23
K ₈₀ , mm	0.5	4.3	4.7

^a MAF矿石的比表面积=154 cm² / g

8. 结论

霍戈文艾莫伊登厂高炉炉料由48%的超高熔剂性烧结矿和48%的橄榄石球团矿所组成。球团厂和烧结厂的生产几乎达到最高生产能力:即年产量为400万吨。

6号和7号高炉均达到高产水平(60吨/米²·24小时或2.5吨/米³·24小时),因而必须有优质炉料为保证。

通过控制烧结矿中FeO含量,就可达到控制HOSIM(高炉模拟试验)后的烧结矿的粉化值。

通过HOSIM试验可对高炉炉料的还原性和粉化值作出评价。

本文还对日常生产中烧结矿质量控制的应用作了如下说明:当使用赤铁矿期间,实行低渣量操作,当HOSIM试验后烧结矿粉化值保持稳定时,对高炉生产没有影响。在此期间常规烧结矿质量指标如:RDI值、FeO含量和冷强度等并未发生变化。

李益慎 译自《Ironmaking Conference Proceedings》1988

廖国瑞 校

原料的化学成分

表 2

原 料	化 学 成 分 重 量 %								1000℃时空气中 烧损残存
	Fe	P	S	MgO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	
MAF*	70.6	0.031	0.011	0.053	0.222	0.53	0.298	0.80	1.03
GGAF	67.77	0.011	0.040	0.180	1.500	0.49	0.500	2.00	0.950
Itabira**	64.7	0.041	0.010	0.159	0.240	0.03	1.160	5.01	0.987
橄榄石	5.6	0.000	0.020	0.110	0.180	49.60	0.370	41.80	0.994
石灰石	0.92	0.020	0.068	0.150	51.000	1.00	1.140	4.48	0.603
生石灰	0.27	0.007	0.930	0.024	90.400	1.180	0.611	1.14	0.948
焦粉	0.76	0.027	0.603	0.031	0.261	1.17	2.960	5.57	0.108

* Fe₂O₃ = 1.4%, Fe₃O₄ = 96.2%, 脉石 = 2.5%。 ** 赤铁矿烧结矿粉。

除试验1—3的熔剂粒度为—3毫米外,其他试验的熔剂粒度均为—1毫米。在试验1—4中,焦粉粒度为3—6mm=80%;1—3mm=62%;—1mm=62%。从试验5起,以后试验的焦粉粒度均为1—3毫米。

三、烧结试验程序

在皇家工学院进行了烧结方法的预先研究之后,Oxelösund钢厂试验研究室用容量为150公斤的抽风烧结盘进行试验,其烧结试验设备配置如图1所示。

有关烧结盘的数据和试验条件列于表3。用煤气烧嘴点火器点火。在两分钟点火期间的负压保持在1000毫米水柱。点火后移开点火器,在烧结试验过程中,负压升高并稳定在1500毫米水柱。废气温度是连续监测的。从点火开始到废气温度达到最高为止的这一段期间作为烧结过程时间。烧结全过程完成以后,将烧结饼从烧结盘中移出并进行稳定性处理,然后进行筛分,—63毫米作为返矿。

四、烧结矿试验

对烧结矿进行了各种项目的检测(如图

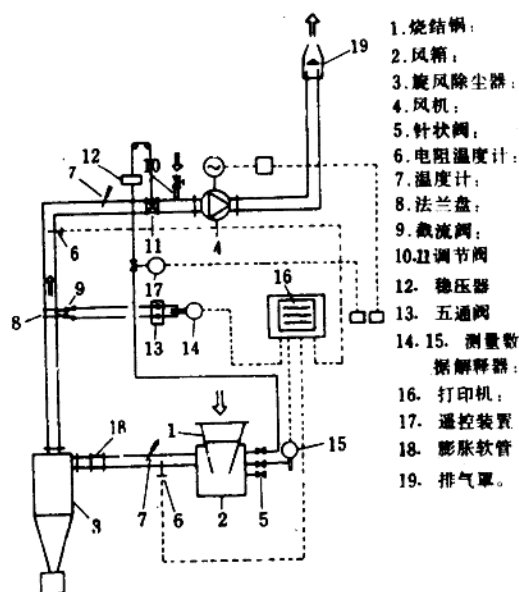


图1 烧结试验设备配置图

2)。以下各小节将分别对这些试验进行概述。

1. 转鼓试验

按照以下试验参数测定出烧结矿的抗破碎性能和耐磨强度:

烧结试验条件

表 3

烧结锅尺寸	矩形烧结锅	290×465mm
	坩锅面积	0.13485 m ²
	高 度	400mm
烧结参数	装 料 量	140—150kg
	坩锅重量	4.5 kg
	料层高度	400 mm
	点火负压	1000mm Wg
	烧结负压	1500mm Wg
	烧结终点	废气温度达到最高时
	烧结矿稳定性	烧结矿破碎后, 全部通过间距100mm筛筛

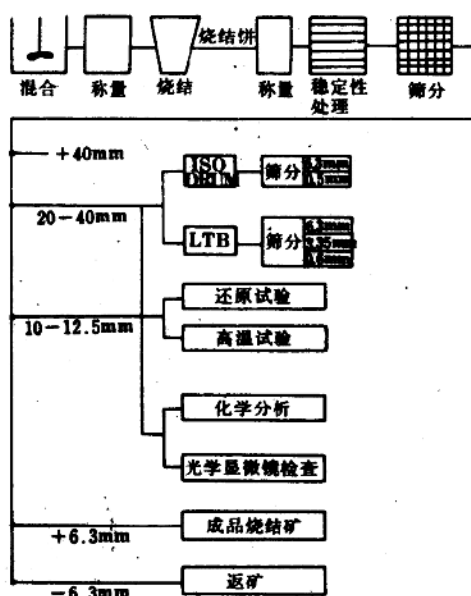


图 2 烧结矿试验过程

转鼓尺寸 1 / 2 米库姆 ($\phi=1000$ 毫米, 宽=500毫米)

试样重量 15公斤

试样粒度 20—40毫米

转鼓转数 200转

旋转速度 25转 / 分

筛子孔径 6.3毫米和0.5毫米

筛分时间 2.5分钟

转数指数以+6.3毫米重量%表示, 磨损指数以-0.5毫米重量%表示。转鼓指数正常值在60—65%之间。

2. 低温粉化试验

低温粉化试验(LTB)是检测在低温还原条件下, 即与高炉炉身上部相似条件下的炉料行程中烧结矿的粉化程度。试验参数如下:

还原温度: 试样加热温度为25→600℃, 然后在600±5℃范围内进行恒温还原。

还原时间: 45+60分钟

还原气体: 24 / 16 / 60(%) CO / CO₂ / N₂

气体流速: 15升 / 分

试样重量: 500克

试样粒度: 20—40毫米

圆筒转速: 10转 / 分

筛子孔径: 6.3毫米, 3.35毫米, 0.6毫米

筛分时间: 60秒

还原后的试样, 通过6.3, 3.35和0.6毫米筛孔, 分别以+6.3, +3.35和-0.6毫米粒级重量占还原后总重量的百分比, 作为低温还原粉化指数的测定值。一般烧结厂+6.3毫米粒级的重量占45%。表4为高Fe—高MgO烧结矿与有关烧结厂指标的比较。

3. 还原性试验

用下列试验参数并按照ISO / DIS 4695进行烧结矿的还原性试验。

试验温度: 950±5℃

Oxelösund 烧结厂实验室最佳高Fe—高MgO 烧结矿试验结果

表 4

烧结试验结果	高MgO 100 % (MAF)		高MgO 95 % (MAF)		Oxelösund 厂 烧结矿	Koverhar 厂 烧结矿	Rautaruukki 厂 烧结矿
	4	5	7*	8*			
烧结矿化学成分 重量 %							
Fe	64.90	64.90	64.90	65.10	59.55	59.60	59.80
FeO	16.30	17.50	18.20	20.30	12.46	9.56	8.00
P	0.027	0.025	0.029	0.027			
S							
CaO	2.90	2.80	3.10	2.90	7.20	7.00	7.02
MgO	1.80	1.70	1.80	1.80	1.60	1.86	2.20
Al ₂ O ₃	0.50	0.50	0.60	0.60	1.00	0.99	0.75
SiO ₂	2.00	1.90	2.30	2.10	5.40	5.40	4.74
CaO / SiO ₂	1.45	1.47	1.35	1.38	1.33	1.28	1.48
CaO + MgO / SiO ₂	2.35	2.37	2.13	2.24	1.63	1.64	1.95
总结试验数据							
混合料中焦粉量 %	3.50	3.75	3.75	4.00			
混合料中返矿量 %	27.00	30.00	17.00	20.00			
返矿平衡	0.65	1.15	1.55	0.79			
烧结时间 分	21.75	19.00	27.50	29.50			
生产率 t / m ² · 24h	36.73	29.98	26.70	28.57	28.20	26.70	32.20
焦粉消耗 kg / t · 烧结矿	49.20	48.24	56.30	51.16	50.00	54.50	51.00
烧结试验结果							
转数指数+6.3mm 重量 %	54.70	55.60	53.30	60.00	66.00	63.40	69.00
-0.5mm 重量 %	8.00	10.00	6.66	6.53			
低温粉化指数+6.3mm 重量 %	53.20	52.60	52.00	63.20	44.00		
+3.35mm 重量 %	73.90	71.00	80.00	80.80	65.00		
DIN R ₄₀ (O ₂ / min %)	0.84	0.78	0.67	0.56	1.20		11.70

* 试验中, 矿石原料由95%的磁铁矿烧结粉(MAF)和5%的赤铁矿粉(Itabira)组成

还原气体: 40 / 60 CO / N₂

气体流量: 50升 / 分

试样重量: 500克

试样粒度: 10—12.5毫米

还原指数R₄₀表示在O / Fe原子比为0.9

时(还原度为40%)的还原率(O₂ % / 分)。

Rautaruukki 厂和Oxelösund 厂的烧结矿正常R₄₀值分别为0.7和1.2。

4. 高温特性试验

进行这项试验研究的目的是, 为了研究

在模拟高炉高温区的条件下, 烧结矿的软化和熔融特性。试验装置采用Luleå MEPOS研究所的高炉模型, 用500克预还原量与60%的试样作试验。

试样在惰性气体中用感应电加热到950℃。在试验全过程中, 气流速度总是稳定在350标升N₂/分。试验过程中, 给试样加载, 以使炉料压力稳定在49千帕。测出以下变量: 试样和气体温度; 试样料层截面的压降; 试样料层收缩率; 气体流入量和流出量。

五、结果与讨论

1. 高Fe—高MgO最佳烧结矿

试验样的烧结混合料为: 磁铁矿粉矿(MAF)为94%; 橄榄石为2.3%; 石灰石为1.7%; 生石灰为2.0%。适当提高焦粉用量后, 生产率和强度指标均得以提高。在试验4中, 焦粉用量为3.5%时, 生产率达到37吨/米²·24小时。值得注意的是, 由于炉壁效应, 试验室生产的烧结矿的转鼓指数比工业生产成分相同的烧结矿要低15—20%。

从试验4以后的各次试验中, 高Fe—高MgO烧结矿强度的提高, 可能是由于适当提高了焦粉用量的结果。

一般情况下, 添加MgO对低温还原粉化强度的提高是有利的。之所以能得到改善, 根据显微镜观察, 主要是因为MgO可抑制赤铁矿相的生成。

在还原过程中, 烧结矿中的六方体赤铁矿, 转变为立方体磁铁矿和方铁矿时伴随有体积膨胀。赤铁矿还原形成磁铁矿和方铁矿延伸多孔结构, 这是造成烧结矿低温还原强度差的原因。

尽管高Fe—高MgO最佳烧结矿的还原性($R_{400}=0.7-0.80\%$ /分) 不很高, 但仍可与烧结厂生产的烧结矿的还原性相比。Rautaruukki厂烧结矿的 R_{400} 值为0.7。

对高Fe—高MgO最佳烧结矿的高温性能

的评价(见试验—4)。料层断面上的气体压降和料层收缩随着烧结矿温度升高而变化的结果分别示于图3和图4。图中还对Oxelösund厂和Koverhar厂的烧结矿和高Fe—高MgO烧结矿高温特性进行了比较。

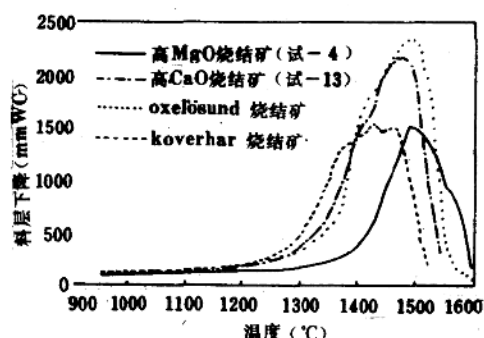


图3 高MgO和高CaO最佳烧结矿的气体压降随温度增加的变化与参照有关烧结矿的比较

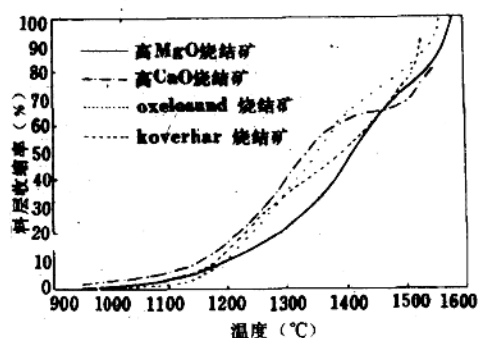


图4 高MgO和高CaO最佳烧结矿的料层收缩率随温度增加而变化与参照有关烧结矿的比较

将料层收缩率为20%和80%时的温度, 分别定为软化温度和熔融温度。对高Fe—高MgO最佳烧结矿和Koverhar厂的烧结矿的高温特性试验结果的比较列于表5。

从表中看出, 高Fe—高MgO最佳烧结矿预还原率为60%时, 软化温度为1268℃, 比同样预还原度的Koverhar厂的烧结矿的软化

高Fe—高MgO最佳烧结矿的高温特性

表 5

原 料	试-4 高MgO烧结矿	试-4 +30% MPBO球团	Koverhar 烧结矿	Koverhar 烧结 矿+50% MPBO 球团
预还原度	60	60	60	60
软化温度 °C	1268	1296	1227	1220
熔融温度 °C	1522	1502	1550	1475
软熔温度区间 °C	254	206	323	255
最大压降 ■WC	1585	1150	2340	2798
最大压力降时的温度	1494	1479	1496	1436

• MPBO=L K A B生产的微榄石型球团矿。

温度1227°C要高。且软化/熔区间要窄一些(254<323)。

在烧结试验4中加入30% MPBO球团料试验结果,会导致软化温度升高,熔化温度降低,最终结果是软/熔区更进一步变窄。

2. 高Fe—高MgO最佳烧结矿的矿物学结构

从显微照片1.2(略)可以看出,烧结矿的显微结构主要由三个相即磁铁矿相,赤铁矿相和渣所组成。磁铁矿晶体呈现为良好的多面体晶粒。某些磁铁矿在渣池中析出。赤铁矿出现在熔融的磁铁矿和氧化的磁铁矿析出物中。联结铁氧化物晶粒之间的母体主要由玻璃状熔渣组成。玻璃状渣相不是很好的粘结剂,这是造成这种烧结矿强度稍低的原因。

高Fe—高MgO烧结矿还原性较低,可能是由于在结构中有大量磁铁矿存在,在渣池中夹杂的铁氧化物增加,使还原气体不易顺利通过所造成的。

3. 高Fe—高CaO最佳烧结矿

高Fe—高MgO最佳烧结矿的冷强度和还原性比在同样条件下厂里生产的烧结矿稍低,如何提高还需进一步探讨。

试验10—13中,高Fe—高CaO烧结矿的碱性更高,这是在烧结料中完全取消微榄石,

增加大量石灰石而取得的。试验18和19也都是高CaO烧结矿,这两种烧结矿的区别在于用GGAF取代MAF。

这些烧结矿的特点在于都是含高Fe—高CaO和低MgO所组成。烧结矿渣相中CaO含量很高,为使其具有很好的流动性,尽管加入了细粒的含铁料,但烧结率还是很高的。试验结果见表6。

从试验4和试验13分别代表高MgO和高CaO最佳烧结矿中看出,两者焦粉用量相同,在冷强度方面高CaO烧结矿明显改善,由试验4的54.7%提高到试验13的64.0%。

高Fe—高CaO最佳烧结矿的低温还原强度是高的,与高MgO烧结矿和厂里生产的烧结矿指标不相上下。

高Fe—高CaO烧结矿的还原性,与高MgO烧结矿相比有明显提高。高MgO烧结矿最大的 R_{10} 值达到0.84,而高CaO烧结矿 R_{10} 最低值也达到1.87。

对高Fe—高CaO烧结矿也进行了高温特性试验。对Koverhar厂和Oxdösund厂的烧结矿作了对比试验,试验结果汇于表7。

从试验结果中看出,高Fe—高CaO烧结矿的软化温度比高Fe—高MgO烧结矿的软化温度要低一些,而软/熔区间要大一些。这意味着在高炉内软融带将会有所增大。这是由