

首钢烧结配加扬地粉试验研究

王颖生^{1,2}, 赵志星², 成富全², 赵 勇²

(1. 北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083; 2. 首钢集团总公司技术研究院, 北京 100041)

摘要:介绍了首钢原料条件下配加扬地粉对烧结生产影响的实验室研究。随着扬地粉配入量的增加, 烧结矿转鼓强度、成品率改善, 燃耗有少量上升, 利用系数增加, 低温还原粉化指数变差。研究结果表明: 在首钢目前条件下, 配入 10%~20% 的扬地粉是可行的。二烧车间进行了扬地粉工业试验, 其最高配比达到 30%, 工业试验时烧结各项指标变化与实验室试验结果基本一致。

关键词:铁矿; 烧结; 转鼓强度; 低温还原粉化

中图分类号: TF52 文献标识码: A 文章编号: 0449-749X(2006)08-0016-03

Experimental Study on Sintering With Adding Yangdi Iron Ore at Shougang

WANG Ying-sheng, ZHAO Zhi-xing, CHENG Fu-quan, ZHAO Yong

(1. School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2. Shougang Research Institute of Technology, Shougang Group Corporation, Beijing 100041, China)

Abstract: Influence of Yangdi iron fine ore addition on sintering was studied. The laboratory results show that the drum strength of sinters is improved, the fuel rate and productivity are increased, and RDI is decreased with the increase of Yangdi fine ore content. It is feasible to add that 10%-20% Yangdi Fine ore. The industrial trial was done in the second sinter plant, the maximum ratio of Yangdi fine ore was 30%. The results were similar to the laboratory ones.

Key words: iron ore; sinter; drum strength; RDI

首钢烧结使用的主要进口矿粉哈默斯利传统澳粉 HIP 变为以 HIP 和新开发的矿种 HIB 各半的 HIX 为主。当时 HIX 配比已达 35%, 进一步提高其配比, 发现烧结矿的低温还原粉化指数恶化较严重。随着国内矿粉价格的攀升, 多配进口矿已经成为降低烧结矿成本一项重要措施, 根据国内外经验^[1,2], 多种矿粉搭配使用时, 在烧结原料中加配结晶水含量较高的扬地粉, 可以保持烧结矿原有质量水平和降低 Al_2O_3 含量。扬地粉属于豆状铁矿, 孔隙度较高, 吸水性较好, 反应性较强。矿粉烧结基础特性研究表明, 扬地粉的最低同化温度在 1130 °C 左右, 而 HIP 粉在 1230 °C, 另外扬地粉液相流动性较 HIP 要好, 可以认为扬地粉的烧结特性与赤铁矿粉及磁铁矿粉有很大差异。另据文献报道^[3~5], 配加扬地粉可以提高生产率, 降低烧结能耗, 改善低温还原粉化性能, 但这些参数与原料条件和工艺参数有很大关联, 首钢烧结条件下能否达到此效果及不利影响的程度等需要进行试验研究。

1 烧结杯试验

本次试验所用原料除扬地粉外都在现场直接备料, 各种原料的化学成分见表 1。由表 1 中可以看出扬地粉品位较低, 但其烧损高, 焙烧后品位可达 65.0%, 高于澳粉 64.79%, 低于地方粉 65.61%。但当烧结矿碱度为 1.9 时, 单烧品位扬地粉为 59.3%, 与地方粉的 59.6% 相当, 比澳粉 61.0% 和巴西粉的 68.5% 要低。因此理论上说, 用扬地粉替代迁安地方粉后, 品位变化较小, 而扬地粉取代澳粉或巴西粉后品位将下降。扬地粉与澳粉相比 Al_2O_3 含量较低。

1.1 试验方案

本次试验的目的主要是考察扬地粉代替地方粉后烧结矿产量理化性能变化情况。具体试验方案见表 2。

1.2 烧结杯试验结果

烧结矿配料碱度 1.9, 烧结试验在 250 mm × 250 mm × 550 mm 长方体烧结杯上进行, 点火温度

表 1 原料化学成分

Table 1 Chemical composition of raw materials

矿粉名称	w(TFe)	w(FeO)	w(CaO)	w(SiO ₂)	w(MgO)	w(Al ₂ O ₃)	w(S)	w(P)	w(H ₂ O)	烧损	%
澳粉	62.20	0.72	0.150	3.25	0.1600	2.30	0.04	0.098	3.6	4.00	
扬地粉	58.80	0.43	0.001	5.17	0.0074	1.10	0.04	0.055	5.6	9.54	
巴西粉	69.00	2.16	0.180	1.32	0.2700	0.90	0.04	0.040	4.6	0.30	
地方粉	65.61	23.49	0.340	5.31	0.5700	0.81	0.08	0.032	7.6	-1.50	
烧结返矿	55.80	9.63	10.400	5.00	2.4500	1.80	0.02	0.051	3.2	0	
洗气灰	50.60	6.97	9.000	6.03	2.2300	2.20	/	0.060	18.8	4.78	
高镁灰石	—	—	43.600	3.42	9.0000	—	—	—	/	40.24	
白灰	—	—	75.500	6.09	6.6200	—	—	—	/	9.40	

表 2 烧结杯试验方案

Table 2 Experimental project of sinter pot test

矿粉配比	基准方案	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	%
澳粉	30	30	30	25	30	
扬地粉	0	10	15	20	20	
巴西粉	10	10	10	10	5	
地方粉	17	10	5	5	5	
烧结木	35	35	35	35	35	
洗气灰	8	5	5	5	5	

表 3 烧结试验工艺参数

Table 3 Parameters of test sintering process

项目	烧损率/%	垂烧速度/(mm·min ⁻¹)	成品率/%	转鼓指数/%	固体燃耗/(kg·t ⁻¹)	利用系数/(t·m ⁻² ·h ⁻¹)
基准方案	15.2	18.5	82.5	83	46.6	1.53
方案 1	15.8	19.4	83.1	83	47.5	1.61
方案 2	15.9	18.9	83.3	81	47.7	1.67
方案 3	17.0	19.5	83.6	84	51.1	1.71
方案 4	17.2	22.2	82.0	85	47.6	1.79

表 4 烧结矿化学成分

Table 4 Chemical composition of sinters

成分	基准方案	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	%
w(TFe)	57.20	57.20	57.40	56.20	56.80	
w(SiO ₂)	4.93	4.87	5.26	5.28	5.25	
w(CaO)	9.35	9.20	9.80	10.36	9.90	
w(MgO)	2.34	2.05	2.02	2.59	2.01	
w(Al ₂ O ₃)	2.00	1.90	2.00	2.10	1.90	
R	1.90	1.89	1.86	1.96	1.89	
w(FeO)	9.34	11.21	7.90	7.54	9.27	
w(C)	0.12	0.13	0.07	/	0.21	

表 5 低温还原粉化(RDI)指数

Table 5 RDI of sinters

试样名称	还原粉化指数/%		
	RDI _{>6.3 mm}	RDI _{>3.15 mm}	RDI _{<0.5 mm}
基准方案	44.98	71.09	7.75
方案 1	35.13	66.58	7.61
方案 2	24.76	60.44	8.63
方案 3	23.90	61.89	8.20
方案 4	28.56	66.61	6.58

(1050±50)℃, 点火时间 2 min。具体烧结工艺参数见表 3, 烧结矿化学成分见表 4。低温还原粉化指数见表 5。

1.3 结果分析与讨论

1.3.1 烧结工艺参数

由于扬地粉烧损较大, 随着扬地粉配加量增加, 扣除水分后烧损逐步增加; 扬地粉最低同化温度较

低,液相流动性较好,烧结过程阻力减少,因此烧结速度加快,利用系数随之增加,这一点在表 3 中明显反映出来。成品率和转鼓较基准方案有上升趋势,主要是因为扬地粉易同化,产生液相量增加造成的。另外,加入扬地粉后,固体燃耗比基准增加,虽然配入扬地粉后成品率并未降低,但由于烧损较大,烧结矿的绝对量减少,故而燃耗略有上升。总体而言,目前配料条件下,扬地粉配比 10%~20%,成品率、强度略有改善,烧结利用系数增加,燃耗略有上升。

1.3.2 化学成分

根据表 4 中数据,方案 1 与基准相比,品位基本不变,主要原因是扬地粉除了代替地方粉外,还代替了部分洗气灰。另外据方案 1 和方案 2 的数据可以看出,当扬地粉代替地方粉后,品位基本不变。当扬地粉替代澳粉(方案 3)和巴西粉(方案 4)后,品位下降,与理论计算相符。除方案 1 以外,其他几个方案的 SiO_2 含量都比基准要高,变化原因同品位变化。由于扬地粉主要代替地方粉,因此 Al_2O_3 含量变化不明显,甚至略有升高。

1.3.3 RDI 指数

由表 5 可以看出,随着扬地粉配比增加, RDI 指数变差。烧结过程是一个先还原后氧化的过程,一般而言,烧结原料中原始 Fe_2O_3 含量越多,烧结过

程中产生的次生赤铁矿量可能性就越大,这种赤铁矿主要分布在气孔、裂纹和粒状残存原矿周围,是影响 RDI 一个重要因素。还原时,该赤铁矿还原较快,由于膨胀程度的差异,使得还原产物和夹杂的矿物之间产生裂纹, RDI 指数恶化,因此随着总澳粉配比的增加,几个方案的 RDI 指数基本都在恶化。

2 生产配用扬地粉

根据实验室试验结果和国内外相关厂家使用经验,技术研究院联合炼铁厂对扬地粉进行工业试验。在烧结矿质量稳定、生产正常的基础上,首先于 2 月初在二烧开始,扬地粉配比由 5% 逐步提高并稳定在 25% 左右(最高配 30%),逐步减少地方粉至停配。根据二烧车间的试验结果,逐渐推广到一烧车间,并成功地在北京地区实现了全进口粉烧结。

在生产正常检验的同时,进行冶金性能的检验,以观察低温还原粉化率的变化。经理论计算,扬地粉替代地方粉,烧结矿品位基本不变,随着扬地粉配比增加,灰石配比呈下降趋势,烧结机料层厚度控制在 550~580 mm,点火温度为 (1100 ± 50) °C,混合料水分适当提高至 6.2%。工业试验期间烧结矿质量和经济技术指标见表 6,粒度见表 7, RDI 数据见表 8。

表 6 烧结指标
Table 6 Sintering indexes

扬地粉配比	$w(\text{TFe})/$	$w(\text{FeO})/$	$w(\text{SiO}_2)/$	R	转鼓指数/ %	利用系数/	燃耗/
	%	%	%			$(\text{t} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2})$	$(\text{kg} \cdot \text{t}^{-1})$
0	56.92	9.26	5.24	1.92	87.36	1.316	44.65
25%	57.23	9.16	5.23	1.83	87.38	1.345	46.43
比较	+0.31	-0.10	-0.01	-0.09	+0.02	+0.029	+1.78

表 7 烧结矿粒度
Table 7 Size distribution of sinters

扬地粉配比	$>80 \text{ mm}$	$80 \sim 60 \text{ mm}$	$60 \sim 40 \text{ mm}$	$40 \sim 25 \text{ mm}$	$25 \sim 10 \text{ mm}$	$10 \sim 5 \text{ mm}$	$<5 \text{ mm}$	%
	0	2.41	5.93	14.86	44.42	25.05	7.33	
25%	0	2.54	6.36	15.31	43.77	24.82	7.14	
比较	0	+0.13	+0.43	+0.45	-0.65	-0.23	-0.19	

表 8 烧结矿低温还原粉化率

Table 8 RDI of sinters

扬地配比	还原粉化指数/%		
	$>6.3 \text{ mm}$	$>3.15 \text{ mm}$	$<0.5 \text{ mm}$
0	36.43	61.85	9.11
25%	32.73	61.38	8.66
比较	-3.70	-0.47	-0.45

从生产数据看出:

(1) 由于扬地粉替代地方粉,烧结混合料粒度组成变粗,使烧结料层透气性有所改善,垂直烧结速度增加,因此,烧结可适当提高料层厚度,烧结机利用系数提高,配扬地粉初期,适当提高了燃料配比、以提高烧结矿 FeO 含量来确保强度稳定,扬地粉配

(下转第 23 页)

生产实践同时表明,新2号炉自2003年10月13日9:18点火投产后,很快进入稳定顺行状态,生产技术指标逐月攀升,总体趋势逐步向高利用系数、高煤比、低焦比、低[Si]方向发展,至2004年1月达到最佳状态(见表3)。至2004年10月,即开炉后的第一年内,未发现有一块冷却壁破损漏水。实验研究与工业应用的成效是十分显著的。

5 结论

(1) 马钢2500 m³新2号高炉实施了利用高炉烘炉过程来实现既烘干水分保护耐材,同时又消除冷却壁铸造内应力和提高壁体力学性能的实验研究与工业应用。

(2) 实验研究、工业应用和生产实践的结果证明,使用的新烘炉工艺,可消除铜、灰铸铁和球墨铸铁3种材质冷却壁的铸造内应力平均达93%以上,同时使壁体力学性能提高平均达12%以上。高炉开炉后顺利稳产期快,4个月内利用系数即高达2.459 t/(m³·d),一年内无一块冷却壁破损,对比效果明显。

(3) 实践证明,马钢2500 m³新2号高炉冷却系统的设计得以改进,开炉操作成功,设备系统运行稳定。

(上接第18页)

比25%以后,烧结矿转鼓强度稳定在87%以上,燃料消耗上升约2 kg/t。

(2) 由于扬地粉烧损高达10%,烧后品位达到65.4%、w(SiO₂)为4.7%,替代地方粉后,熔剂配比调整幅度不大,烧结矿品位、SiO₂基本稳定,表6中烧结矿品位上升,主要是烧结矿碱度降低的影响。

(3) 扬地粉替代地方粉以后,烧结矿低温还原粉化率(RDI)指标变化不大。

(4) 5号高炉全部使用二烧烧结矿,粒度筛分小于10 mm粒级有所减少。烧结矿粒度组成基本稳定,高炉炉况稳定顺行,未给高炉生产带来影响。

3 结语

根据实验室试验和工业试验结果,认为首钢烧结目前配料条件下,配加10%~20%的扬地粉,烧

致谢:张小军、陆志光、黄发元、赵庆春、殷欢、汪保平及马钢4铁厂炼铁和机修车间等同志参加了本工作的部分实验研究与工业应用实验,谨致忱谢。

参考文献:

- [1] 胡源申,梁晓乾.冷却壁破损与水管结垢研究[J].钢铁,1997,32(10):7-11.(HU Yuan-shen, LIANG Xiao-qian. Study on Breakage of Cooling Stave and Water Pipe Incrustation [J]. Iron and Steel, 1997,32(10):7-11.)
- [2] 胡源申,路锁顺.灰铁冷却壁解剖研究与破损机理[J].钢铁,1998,33(9):9-13.(HU Yuan-shen, LU Suo-shun. Dissection Study on Damage Mechanism of Grey Cast Iron Cooling Stave [J]. Iron and Steel, 1998,33(9):9-13.)
- [3] 胡源申,黄达文.马钢350 m³高炉灰铸铁与球墨铸铁冷却壁破行为比较及长寿对策[J].钢铁,1999,34(增刊):266-271.(HU Yuan-shen, HUANG Da-wen. Comparative Study on Damage Behavior of Grey and Nodular Cast Iron Cooling Staves and Countermeasures in 300 m³ BF[J]. Iron and Steel, 1999,34(10):266-271.)
- [4] 胡源申,黄达文.利用高炉烘炉消除350 m³高炉全铸钢冷却壁铸造内应力的新工艺研究与工业应用[J].钢铁,2003,38(10):11-15.(HU Yuan-shen, HUANG Da-wen. Study of New Process and Its Industrial Application of Eliminating the Casting Stress of Cooling Stave Through BF Drying Process[J]. Iron and Steel, 2003,38(10):11-15.)

结矿成品率、强度将略有改善,烧结利用系数增加,燃耗略有上升;用扬地粉取代地方粉,烧结矿品位基本不变;随着扬地粉配比增加,RDI指数略有下降;烧结生产中配入25%的扬地粉,烧结矿强度和粒度组成略有改善,未给高炉带来不利影响。

参考文献:

- [1] 于伟山.武明河配加扬地矿烧结工业试验研究[J].包钢科技,1994,(4):42-44.
- [2] Yang L X , Witchard D, Yu Z N . Introduction of Pisolitic Goethite ore into a Chinese Ore Blend[J]. ISIJ International, 2000, (4): 647-651.
- [3] Cher Song Teo. 提高BHP钢铁公司铁料中的Yandi矿配比[J].现代冶金,2000,(4):3-33.
- [4] Yang L X . Sintering Fundamentals of Magnetite Alone and Blended With Hematite and Hematite Goethite Ores[J]. ISIJ International, 2005, (4):560-564.