

铁矿石烧结过程中固体燃料种类的优化

贵永亮¹, 刘连继², 肖洪², 胡宾生¹, 李晓云²

(1. 河北联合大学冶金与能源学院, 河北唐山 063000;

2. 河北钢铁集团唐钢公司技术中心, 河北唐山 063000)

摘要:在铁矿石烧结过程中, 固体燃料的种类和质量配比对烧结矿的化学成分、矿物结构和矿物组成以及冶金性能都有明显的影响。本文以混匀铁矿石为原料, 研究了焦粉、良乡煤和朝鲜煤三种固体燃料对烧结矿质量的影响, 旨在合理利用固体燃料资源和降低生产成本。结果发现, 在等热值条件下, 焦粉有利于改善烧结矿的中温还原性能, 但恶化其低温还原粉化性能, 而两种煤粉做固体燃料可以增加烧结矿总的交织-熔蚀结构, 对改善烧结矿的冷态强度和低温还原粉化性能比较有利。

关键词:固体燃料种类; 烧结矿; 矿物结构; 冶金性能; 煤; 焦炭

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2014.02.006

中图分类号: TD989; TF046.4 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2014)02-0029-04

在钢铁企业的能源消耗结构中, 固体燃料消耗占烧结工序总能耗的70%左右, 占烧结总成本的5%~6%^[1-2]。为了保证铁矿石烧结过程的高温环境, 必须配加一定量的固体燃料, 这些固体燃料与铁矿石在高温环境下会发生一系列复杂的物理化学反应^[3]。固体燃料的种类不同, 其性质差别很大, 也会对烧结过程的气氛和温度水平、烧结矿的化学成分及冶金性能带来很大的影响^[4-5]。同时, 选用不同种类的固体燃料, 达到相同烧结效果的配加比例也有所不同, 从而烧结成本也会有明显的差别。本文结合唐钢的生产实际和原燃料条件, 在实验室系统研究了三种固体燃料对烧结矿化学成分及烧结矿冶金性能的影响, 从而优化固体燃料的种类, 为降低生产成本和合理利用燃料资源提供依据。

1 试验原料

本次烧结试验所用的含铁原料为唐钢炼铁厂的混匀矿, 固体燃料为焦粉、良乡煤和朝鲜煤。试验所用原料的化学成分、固体燃料的工业分析(包括固定碳 FC_d 、灰分 A_d 、挥发分 V_d 、硫含量 $S_{L,d}$ 、全水 M_{ad})和恒容低位发热值 $Q_{net,ad}$ 、铁矿石和固体燃料的化学分析及粒度组成分别见表1~3。

表1 铁矿石和生石灰的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of iron ore and lime

原料种类	TFe	FeO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	烧损
混匀矿	52.08	3.68	5.50	7.00	2.13	2.00	0.58	6.70
生石灰			3.01	63.26	5.27	0.75		27.27

表2 固体燃料的工业分析

Table 2 Proximate analysis of solid flues

固体燃料种类	FC_d /%	A_d /%	V_d /%	$S_{L,d}$ /%	M_{ad} /%	$Q_{net,ad}$ /(kcal·kg ⁻¹)
焦粉	82.98	14.35	2.67	0.83	2.37	6263
良乡煤	74.17	20.36	5.20	0.15	3.63	5897
朝鲜煤	73.47	20.86	5.67	0.23	5.75	5848

表3 铁矿石和固体燃料的粒度组成/%

Table 3 Size distribution of iron ore and solid fuel/%

粒级/mm	>3	1~3	0.5~1	0.15 ~0.5	0.074 ~0.15	<0.074
混匀矿	30.58	24.57	16.03	19.70	4.82	4.30
焦粉	8.03	24.86	20.14	31.13	8.48	7.36
良乡煤	26.85	27.07	17.35	18.93	6.38	3.42
朝鲜煤	27.15	17.95	15.99	25.26	8.37	5.28

从表1~3结果可以看出, 良乡煤和朝鲜煤的灰分含量比较高, 分别达到了20.36%和20.86%, 这对提高烧结矿的含铁品位是不利的。此外, 良乡煤

收稿日期: 2013-06-18; 改回日期: 2013-08-27

基金项目: 河北省高等学校科学研究计划项目(Q2012076)

作者简介: 贵永亮(1979-), 男, 副教授, 博士, 主要从事炼铁工艺及技术研究。

和朝鲜煤的粒度较粗, <3mm 粒级的比例分别为 73.15% 和 72.85%。

2 试验方案

结合唐钢炼铁厂的实际烧结情况, 确定烧结矿的 CaO/SiO₂ 为 1.95, MgO 含量控制为 2.20%, 返矿配比为 25%。为研究不同配比的单种固体燃料对烧结矿化学成分及冶金性能的影响, 确定焦粉的三种质量配比分别为 4.5%、5.0% 和 5.5%, 依据恒容低位发热量相等的原则, 经计算, 相应的良乡煤的质量配比分别为 4.78%、5.31% 和 5.84%, 朝鲜煤的质量配比分别为 4.82%、5.35% 和 5.89%。

3 试验结果及分析

3.1 固体燃料种类对烧结矿化学成分的影响

不同固体燃料种类及配比条件下烧结矿的化学成分见表 4。由表 4 可知, 随着固体燃料质量配比

的增加, 烧结矿中的 FeO 和 SiO₂ 含量略有增加, 其他成分没有明显的变化。究其原因是因为固体燃料质量配比的增加, 还原气氛得到改善, FeO 含量增加。SiO₂ 含量升高是由于固体燃料灰分中比较高的 SiO₂ 含量造成的。分别选用良乡煤和朝鲜煤做固体燃料时, 烧结矿的化学成分没有明显的区别。

在发热值相等的条件下, 选用焦粉做烧结固体燃料时, 烧结矿的含铁品位略高, SiO₂ 和 Al₂O₃ 含量稍低。这主要是因为良乡煤和朝鲜煤的灰分含量都比较高, 加上其热值较低导致的配比增加, 使得残留在烧结矿中的灰分自然比较多, 而灰分的主要成分又是 SiO₂ 和 Al₂O₃, 从而影响烧结矿的含铁品位。

煤粉作为烧结固体燃料时, 产生比较大的还原区域, 有利于产生较多的 FeO。此外, 烧结矿中较高的 SiO₂ 含量也有利于 FeO 的产生, 因为在高温条件下, SiO₂ 比较容易与 FeO 形成复杂化合物。

表 4 固体燃料种类和质量比对唐钢烧结矿化学成分的影响/%

Table 4 Effect of solid fuel type and ratio on chemical composition of sinter

种类	配比	TFe	FeO	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO/SiO ₂
焦粉	4.5	53.18	7.36	11.30	2.25	5.72	2.19	0.69	1.98
	5.0	53.57	9.02	11.41	2.24	5.86	2.21	0.63	1.95
	5.5	53.36	10.91	11.43	2.13	5.80	2.33	0.71	1.97
良乡煤	4.78	52.97	7.55	11.66	2.17	5.93	2.36	0.65	1.97
	5.31	52.93	9.25	11.52	2.24	6.03	2.41	0.67	1.91
	5.84	52.78	11.24	11.73	2.28	6.05	2.38	0.63	1.94
朝鲜煤	4.82	52.95	7.74	11.84	2.19	6.01	2.35	0.69	1.97
	5.35	52.89	9.14	11.93	2.18	6.12	2.32	0.68	1.95
	5.89	52.77	11.18	11.71	2.26	6.15	2.36	0.62	1.90

3.2 固体燃料种类对烧结矿矿物组成与矿物结构的影响

试验结果表明, 随着烧结固体燃料配比的增加, 烧结矿中的磁铁矿 (Fe₃O₄) 含量增加, 赤铁矿 (Fe₂O₃) 含量降低, 铁矿物的总量基本保持不变; 铁酸钙 (CaO · Fe₂O₃) 和玻璃质含量降低, 钙铁橄榄石 (CaO · FeO · SiO₂) 含量提高, 硅酸二钙 (2CaO · SiO₂) 和钙镁橄榄石 (CaO · MgO · SiO₂) 含量基本保持不变。

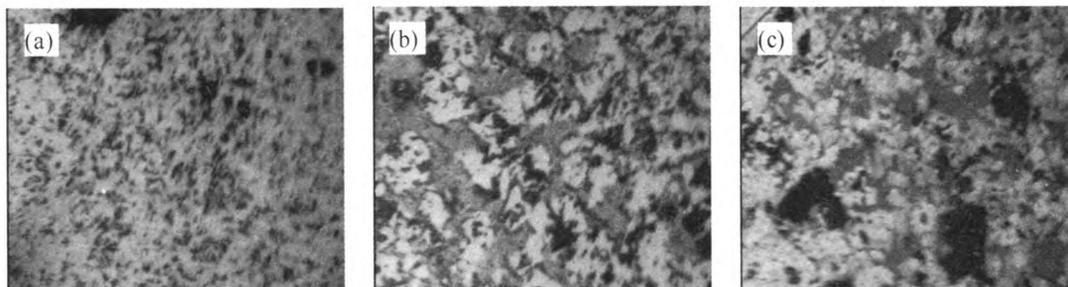
煤粉中固体碳的燃烧速度较快, 火焰温度较高, 但烧结料层的透气性较差。此外, 在相等热值的前提下, 煤粉做固体燃料会产生较强的还原气氛, 有利于磁铁矿 (Fe₃O₄) 和钙铁橄榄石 (CaO · FeO · SiO₂)

的形成, 抑制赤铁矿 (Fe₂O₃)、铁酸钙 (CaO · Fe₂O₃) 和玻璃质的生成。从试验结果来看, 良乡煤做固体燃料时, 烧结矿中的钙铁橄榄石 (CaO · FeO · SiO₂) 含量略高, 玻璃质含量稍低, 其他含铁矿物和粘结相矿物与朝鲜煤做固体燃料时没有明显的区别。

从烧结矿的矿物结构来看, 烧结矿主要以交织-熔蚀结构(a)为主, 含有部分共晶结构(b)和斑状-粒状结构(c)以及少量的残存结构。在三种固体燃料等发热值的条件下, 良乡煤做固体燃料时的烧结矿中交织-熔蚀结构最多, 而焦粉做固体燃料时交织-熔蚀结构最少。这主要是因为良乡煤在三种固体燃料中的固体碳燃烧速度最快, 烧结料层透气性最差, 垂直烧结速度最低, 促使烧结矿的成矿过程

得到改善。此外,随着烧结固体燃料质量配比的增加,烧结矿中的交织-熔蚀结构比例提高,共晶结

构、斑状-粒状结构和残存结构的比例则有所降低,烧结矿的机械强度将相应得到提高。



(a) 交织-熔蚀结构

(b) 共晶结构

(c) 斑状-粒状结构

图 1 烧结矿中的矿物结构(反光,×160)

Fig.1 Mineral structure of sinter(reflect light,×160)

3.3 固体燃料种类对烧结矿冶金性能的影响

固体燃料种类和质量对比对唐钢烧结矿低温还原粉化性能(RDI)的影响结果见表 5。

表 5 固体燃料种类和质量对比对唐钢烧结矿低温还原粉化性能的影响/%

Table 5 Effect of solid fuel type and ratio on low temperature reduction degradation index of sinter

固体燃料种类	燃料配比	RDI _{+6.3}	RDI _{-3.15}	RDI _{-0.5}
焦粉	4.5	24.48	45.88	20.77
	5.0	30.64	37.7	18.74
	5.5	41.59	32.87	14.69
良乡煤	4.78	26.55	41.89	18.17
	5.31	37.11	34.59	14.33
	5.84	42.71	29.92	11.99
朝鲜煤	4.82	26.43	43.31	19.67
	5.35	36.53	35.38	15.26
	5.89	41.02	30.69	12.72

从表 5,随着三种固体燃料质量配比的增加,烧结矿的大于 6.3mm 的比例(RDI_{+6.3})升高,而烧结矿的小于 3.15mm 的比例(RDI_{-3.15})和小于 3.15mm 的比例(RDI_{-0.5})则有所降低,烧结矿的低温还原粉化性能得到改善。这是因为固体燃料配比的增加有利于烧结矿中钙铁橄榄石的形成,从而为降低烧结矿在低温还原过程中的热应力创造了条件。

相对于焦粉,选用两种煤粉作为固体燃料时,烧结矿的低温还原粉化性能有明显的改善,并且良乡煤改善的效果比朝鲜煤更明显,这对改善高炉块状带的透气性是很有利的。这些结果与烧结矿的矿物结构和组成是一致的,因为煤粉作为固体燃料时,烧

结矿中的钙铁橄榄石(CaO·FeO·SiO₂)含量比较高,玻璃质含量比较低,烧结矿在还原过程中产生的热应力比较小,同时,机械强度比较高的交织-熔蚀结构比例比较高,机械强度比较低的共晶结构、斑状-粒状结构和残存结构的比例则比较低,这些都有助于烧结矿低温还原粉化性能的改善。

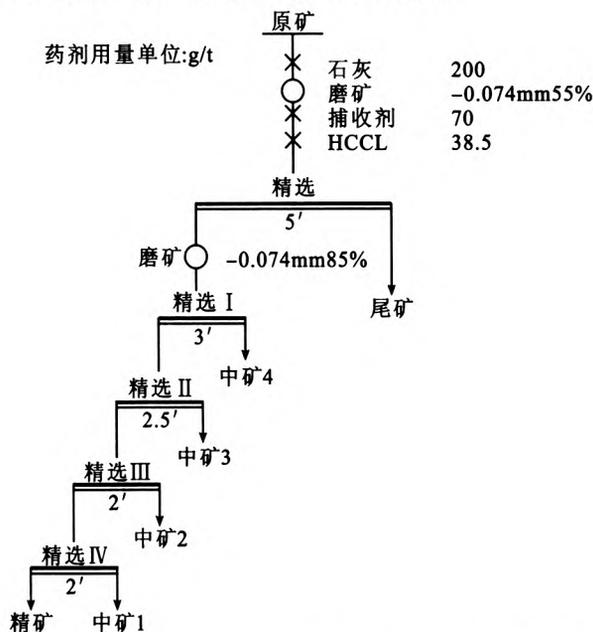


图 2 固体燃料种类和质量对比对烧结矿还原性能的影响

Fig.2 Effect of solid fuel type and ratio on reduction property of sinter

由图 2 可知,随着烧结矿中固体燃料质量配比的增加,烧结矿的还原性能都有所恶化,并且三种固体燃料都表现出了相同的规律。从烧结矿的矿物组成来看,主要是烧结矿中还原性比较差的钙铁橄榄

石和磁铁矿的数量增加导致的。此外,在恒容低位发热值相等的条件下,固体燃料种类的差别对烧结矿的还原性能影响并不大,都处在唐钢高炉冶炼能接受的范围之内,基本不会给高炉冶炼及燃料比带来不利的影响。

3.4 固体燃料种类的优化

由表 2 可知,焦粉的挥发分和灰分含量都比较低,发热值比较高,作为唐钢烧结固体燃料时,一方面有利于改善烧结料层的透气性和提高垂直烧结速度,有利于烧结矿产量的提高,同时,对烧结矿的中温还原性能有利。另一方面会使烧结矿的结晶程度降低,增加玻璃质含量,从而影响烧结矿的冷态机械强度和低温还原粉化性能。在选用良乡煤和朝鲜煤作固体燃料时,由于其良好的煤粉反应性和较快的固体碳燃烧速度,使得火焰温度较高,加上较低的垂直烧结速度,导致烧结矿的成矿过程和结晶程度得以改善,降低热应力。此外,由于增加了烧结矿中的交织-熔蚀结构,对改善烧结矿的冷态强度和低温还原粉化性能比较有利。但是,煤粉中数量较多的挥发分挥发后在烧结料层下部温度比较低的地方会重新凝结下来,恶化烧结料层的透气性,给垂直烧结速度和烧结机利用系数的提高带来了不利的影响。综合考虑,在燃料资源允许的条件下,唐钢应选择焦粉和煤粉混合的固体燃料结构,并且应进一步

研究固体燃料结构中焦粉和煤粉的适宜比例。

4 结 论

(1)唐钢目前所用的固体燃料中,良乡煤和朝鲜煤的挥发分含量较高,粒度较粗,对提高烧结矿的品位不利。

(2)随着固体燃料配比的增加,烧结矿中的 FeO 和 SiO₂ 含量略有增加,赤铁矿、铁酸钙和玻璃质含量降低,钙铁橄榄石 (CaO · FeO · SiO₂) 含量提高,低温还原粉化性能改善,还原性能有所恶化。

(3)在综合考虑烧结矿化学成分和冶金性能的条件下,若燃料资源允许,唐钢应选择焦粉和煤粉混合的固体燃料结构。

参考文献:

- [1]张玉柱,董绍宾,邢宏伟,等.提高唐钢烧结矿强度指标的试验研究[J].矿产综合利用,2007(4):22-24.
- [2]裴凤玉,贾秀凤.高负压下增大固体燃料粒度降低烧结能耗[J].烧结球团,2000,25(2):40-42.
- [3]崔玉元.烧结固体燃料燃烧动力学特征及包钢降耗途径[J].包钢科技,2000,26(4):4-8.
- [4]张军红,金永龙,孙家富,等.以煤代焦对烧结过程影响的研究[J].钢铁,2002,37(2):1-3.
- [5]张振峰,吕庆,王文山,等.固体燃料种类和配比对钒钛磁铁矿烧结过程及烧结矿性能的影响[J].钢铁钒钛,2008,29(4):72-76.

Optimization of Solid Fuel Type in Iron Ore Sintering Process

Gui Yongliang¹, Liu Lianji², Xiao Hong², Hu Binsheng¹, Li Xiaoyun²

(1. College of Metallurgy and Energy, Hebei United University, Tangshan, Hebei, China;

2. Technology Center of Tangsteel Company, Hebei Iron & Steel Group, Tangshan, Hebei, China)

Abstract: In iron ore sintering process, there are some effects on chemical composition, mineral structure and constituent, metallurgical properties of sinter with the changing of types and ratio of solid fuel. In order to use reasonably fuel resources and reduce cost of manufacture, the effects of three solid fuels (coke powder, Liangxiang coal and Korea coal) on sinter properties were studied with the iron ore blender as the iron-contained materials. Results shown that the reducibility at 900℃ was slightly improved and the low temperature reduction degradation index was worsened with the coke powder as the solid fuel relative to coal powder under the equal calorific value condition. However, with the coal powder as the solid fuel, the coal mechanical strength and low temperature reduction degradation index was improved because more interweaving corroded structure formed in sintering process.

Keywords: Solid fuel type; Sinter; Mineral structure; Metallurgical property; Coal; Coke