天然气强化烧结生产技术研究*

刘周利,白晓光,李玉柱

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章以天然气为研究对象,在实验室利用烧结杯开展了天然气替代部分焦粉强化烧结试验。研究结果表明:当天然气喷吹时间为15 min,热量补充比例为25%时,烧结矿成品率、转鼓强度、固体燃耗、烧结矿还原性、低温还原粉化指标以及烧结矿显微结构最优。

关键词: 天然气; 烧结; 研究

中图分类号: TF046.4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)01-0022-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.01.007

Study on Intensifying Production Technology of Sintering with Natural Gas

Liu Zhou-li, Bai Xiao-guang, Li Yu-zhu

(*Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, it is introduced the experiment of intensifying sintering by replacing part of coke powder with natural gas using sinter pot carried out in the laboratory by taking natural gas as the object of study. The study results showed that the yield of sinter, drum strength, solid fuel consumption, reducibility of sinter, low-temperature reduction degradation index and microstructure of sinter were optimum when the jet time of natural gas was 15 min and adding proportion of heat was 25%.

Key words: natural gas; sintering; study

在烧结矿表面喷入液化天然气燃料技术可在不增加焦粉配比的前提下提高烧结矿质量[1-2]。其原理是从烧结机料层表面喷吹一定量的天然气,在烧结负压作用下,天然气被抽入到烧结燃烧层,当到达烧结燃烧层上方高温区时燃烧,从而出现新的高温区,减缓了烧结高温区物料的冷却速度,延长了新生成的烧结矿在高温区的保持时间,从而提高烧结矿强度,相应减少的固体燃料配入量,使固体燃料燃烧产生高温区的最高温度降低,有助于改善烧结矿的矿物组成和还原性[3-4]。本文根据文献资料研究结果,同时考虑白云鄂博特殊矿的特殊性,开展了实验室喷吹天然气试验,目的是在高比例白云鄂博特殊矿配比条件下,改善烧结指标不稳定以及烧结矿质量指标差的现状。

1 试验原燃料

试验用铁料包括巴润精矿、混合精矿、澳矿粉、毛塔粉及钢渣;熔剂包括石灰石、生石灰、轻烧白云石;燃料为焦粉,天然气。试验原料的化学成分见表1,燃料工业分析见表2。

* **收稿日期:** 2020-12-30

作者简介: 刘周利(1984-),男,陕西省凤翔县人,高级工程师,现从事炼铁原料及工艺研究工作。

表 1　原料化学成分及烧损(质量分数)　%

原料名称	TFe	FeO	CaO	SiO_2	MgO	Al_2O_3	P	S	K_2O	Na_2O	F	I_g
巴润精矿	66.46	28.92	1.21	1.72	0.81	0.414	0.050	1.710	0.056	0.046	0.074	2.30
混合精矿	65.90	27.77	1.08	2.48	0.85	0.124	0.063	0.680	0.112	0.209	0.272	1.82
澳矿粉	61.44	<0.50	0.08	4.22	0.073	2.170	0.104	0.019				5.15
毛塔粉	60.32	11.32	0.69	10.33	0.83	1.140	0.064	0.024				1.15
钢渣	21.64	15.81	33.98	13.62	7.82		0.900	0.120				
轻烧白云石			37.45	1.01	21.74							38.70
石灰石			48.90	3.33	1.29							39.74
生石灰			81.59	2.19	2.30	0.610						6.88

表 2　燃料工业分析(质量分数)　%

名称	F_{cad}	A_{ad}	V_{ad}	$S_{t,d}$	M_t
焦粉	82	16.18	2.17	0.9	2.4

由表 2 可以看出: 焦粉的固定碳含量为 82%，灰分较高，为 16.18%，硫含量较高，为 0.9%。

2　试验方案

基准试验是按照四烧烧结机原料结构进行，其固体燃料配比为较高水平。强化烧结试验期间，在基准点铁料配置的基础上，将固体燃料配比由较高水平降至较低水平，然后按照焦粉和天然气的热值差异，将减少焦粉后所损失的热值折算成一定比例的天然气进行补偿，即表 3 中“热量补偿比例”，从而观察不同热量补偿比例的天然气对烧结矿质量的影响。包钢技术中心进行了大量的 LNG(天然气)强化烧结试验研究工作，重点是确定天然气的喷吹比例和适宜的喷吹时间。在此基础上将天然气强化烧结的试验结果推广到使用焦炉煤气强化烧结生产上。

根据以往的烧结杯试验经验，烧结时间一般为 30 ~ 35 min，喷吹时间按照烧结总时间的 1/3 ~ 1/2 设计，所以大体上对 30% 面积喷吹设定为 10 min，45% 面积喷吹设定为 15 min，60% 面积喷吹设定为 20 min。具体试验方案见表 3。

表 3　试验方案

试验编号	热量补偿比例/%	喷吹时间/min	天然气流量/($m^3 \cdot h^{-1}$)	天然气消耗量/m^3
0#				
1#	33.3	15	0.392	0.098
2#	25.0	15	0.294	0.074
3#	25.0	20	0.221	0.074
4#	20.0	15	0.235	0.059
5#	33.3	10	0.587	0.098
6#	25.0	10	0.441	0.074
7#	20.0	10	0.353	0.059
8#	16.7	10	0.295	0.049
9#	15.0	10	0.265	0.044
10#	12.5	10	0.221	0.037

烧结试验采用包钢技术中心直径 200 mm 烧结杯，料层厚度 700 mm，点火负压为 4.9 kPa，烧结负压 9.8 kPa。

烧结矿碱度为 2.0 ± 0.1，烧结矿 MgO 含量控制为 2.1% ~ 2.3%。烧结矿 SiO_2 含量按 4.4% ~ 4.8% 控制。采用石灰石、生石灰调整烧结矿碱度，轻烧白云石调整烧结矿 MgO 含量。

3　烧结杯试验结果及分析

3.1　化学成分

烧结矿化学成分见表 4。

表4 烧结矿化学成分及碱度

试验编号	化学成分(质量分数)/%											碱度
	TFe	FeO	CaO	SiO_2	MgO	F	P	S	K_2O	Na_2O	Al_2O_3	(R_0)
0#	56.41	10.55	10.59	5.02	2.00	0.118	0.091	0.034	0.104	0.142	0.118	2.08
1#	56.69	9.29	10.50	5.02	2.00	0.141	0.119	0.034	0.104	0.102	0.141	2.05
2#	57.11	9.33	10.23	4.97	2.01	0.104	0.105	0.029	0.096	0.096	0.104	2.03
3#	56.97	9.52	9.98	4.98	1.99	0.094	0.094	0.033	0.084	0.081	0.094	1.98
4#	57.94	9.70	9.81	4.68	1.94	0.106	0.098	0.024	0.096	0.106	0.106	2.06
5#	57.39	9.50	10.11	4.98	1.89	0.129	0.109	0.031	0.108	0.088	0.129	1.99
6#	56.55	9.70	10.56	5.02	2.04	0.116	0.102	0.038	0.114	0.107	0.116	2.07
7#	57.52	9.42	10.53	5.06	2.05	0.104	0.094	0.039	0.094	0.091	0.104	2.05
8#	57.80	9.41	10.11	5.02	1.96	0.105	0.096	0.028	0.094	0.082	0.105	1.98
9#	57.66	9.78	10.12	5.07	1.98	0.100	0.094	0.028	0.087	0.089	0.100	1.97
10#	57.25	10.05	10.06	4.96	2.02	0.102	0.097	0.032	0.092	0.086	0.102	2.00

由表4可以看出：随着天然气替代焦粉比例的增加，烧结矿FeO含量有降低的趋势，喷吹量越大，烧结矿FeO含量降低越明显。

3.2 工艺指标

烧结杯试验结果见表5。

表5 烧结工艺指标

试验编号	成品率/%	利用系数/(t·m^{-2}·h^{-1})	固体燃耗/(kg·t^{-1})	转鼓强度/%
0#	68.5	1.39	67.2	65.1
1#	68.9	1.50	61.5	67.5
2#	69.5	1.54	60.2	68.8
3#	66.8	1.42	62.6	65.1
4#	67.8	1.56	62.4	67.9
5#	67.9	1.57	61.2	65.3
6#	68.5	1.52	61.1	66.0
7#	66.9	1.56	62.7	64.5
8#	66.8	1.53	63.2	63.7
9#	66.9	1.49	63.1	62.9
10#	66.6	1.46	64.0	62.1

从表5可以看出：当喷吹时间为15 min时，热量补偿比例存在最佳区间。热量补充比例为25%的烧结矿综合指标均优于其他两组和基准点，其成品率为69.5%，较其它两组高0.6个百分点以上，较基准点高1.0个百分点；烧结矿转鼓强度为68.8%，较其它两个试验点高1.0个百分点以上，较基准点高3.7个百分点；固体燃耗为60.2 kg/t，较其它两个试验点降低0.7 kg/t以上，较基准点降低6.7 kg/t。此外，喷入不同流量的天然气15 min后，烧结利用系数总体略高于基准点。

当喷吹时间为15 min时，热量补充比例为25%时，各项指标均优于其他组，其转鼓强度为66.0%；当热量补偿比例从25%上升到33.3%时，转鼓强度略有下降，但仍与基准点处于相当的水平；而随着热量补偿比例降低，转鼓强度随之降低；当热量补偿比例下降到20%时，烧结矿转鼓强度较基准点有所下降，随着补偿热量进一步下降，烧结矿转鼓强度下降明显，此时，喷吹天然气实现改善烧结矿质量指标的优势难以体现。

3.3 冶金性能

烧结矿冶金性能检测结果见表6。

表6 烧结矿冶金性能

试验编号	天然气流量/(m^3·h^{-1})	热量补偿比例/%	RI/%	$RDI_{+3.15mm}$/%
0#			81.8	68.5
1#	0.392	33.3		
2#	0.294	25.0	84.0	70.5
3#	0.221	25.0		
4#	0.235	20.0	86.4	69.6
5#	0.587	33.3		
6#	0.441	25.0	88.3	76.7
7#	0.353	20.0		
8#	0.295	16.7	86.2	74.5
9#	0.265	15.0		
10#	0.221	12.5	85.0	72.0

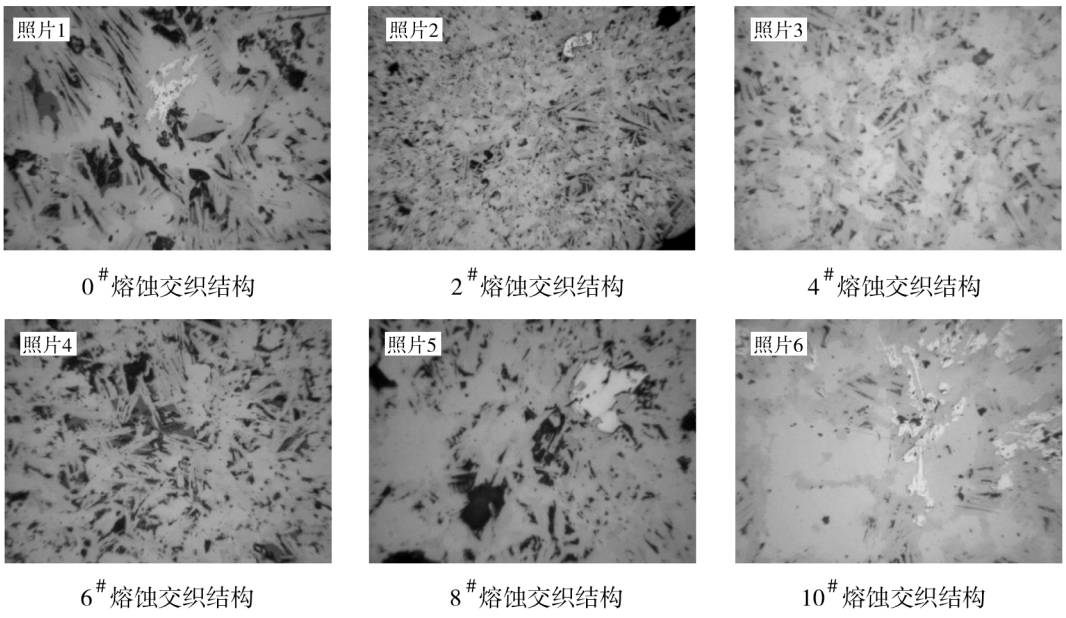
从表 6 可以看出: 基准点固体燃料配加量较高时,还原度指数为 81.8%; 当固体燃料配加量降低时,喷入天然气强化烧结后,烧结矿还原度指数明显改善,最高达到了 88.3%,较基准提高了 6.5 个百分点; 最低提高到 84.0%,提高了 2.2 个百分点。天然气强化烧结也使烧结矿低温还原粉化性能略有改善,基准点 $RDI_{+3.15mm}$ 为 68.5%,试验点 6# 方案 $RDI_{+3.15mm}$ 最高,为 76.7%,比基准提高了 8.2 个百分点。

3.4　烧结矿矿物组成和显微结构

烧结矿矿物组成分析结果见表 7,显微结构见图 1。

表 7　矿物组成(体积分数)　%

试验编号	磁铁矿	赤铁矿	铁酸钙	硅酸二钙	玻璃
0#	42	11	32	2	13
1#	42	12	33	1	12
2#	42	11	36	1	10
3#	42	12	31	2	13
4#	39	14	34	1	12
5#	41	13	32	3	11
6#	39	14	35	2	10
7#	41	10	33	2	14
8#	43	10	31	1	15
9#	41	11	30	3	15
10#	40	12	31	1	16



0# 熔蚀交织结构　2# 熔蚀交织结构　4# 熔蚀交织结构

6# 熔蚀交织结构　8# 熔蚀交织结构　10# 熔蚀交织结构

图 1　显微结构照片

由表 6 以及图 1 可以看出: 与基准点相比,随着天然气喷吹时间延长以及喷吹量的增加,烧结矿矿物结构中铁酸钙呈增加的趋势。整个系列烧结矿主要以磁铁矿和铁酸钙形成的熔蚀交织结构为主。

基准点铁酸钙晶粒粗大,孔隙发育(照片 1); 与基准点相比,2# 方案铁酸钙含量提高 4 个百分点,且铁酸钙为针状,晶粒细小(照片 2),这种结构有利于改善烧结矿强度和还原性; 4# 方案铁酸钙含量提高 2 个百分点,且铁酸钙为针状,磁铁矿晶粒粗大(照片 3); 6# 方案铁酸钙含量提高 3 个百分点,且铁酸钙为针状,晶粒细小,孔隙发育(照片 4); 8# 方案铁酸钙含量降低 1 个百分点,赤铁矿降低 1 个百分点,孔隙发育,与基准点结构非常相似(照片 5); 10# 方案铁酸钙含量降低 1 个百分点,赤铁矿降低 1 个百分点,铁酸钙多呈片状结构(照片 6),不利于改善烧结矿强度。

4　结论

(1) 喷吹天然气后,烧结矿显微结构显示,铁酸钙与磁铁矿形成的交织熔蚀结构趋于合理,铁酸钙呈针状分布,且晶粒细小,有利于改善烧结矿强度和还原性。

(2) 天然气替代焦粉强化烧结生产最大热量补偿比例不宜超过 33.3%,适宜的热量补充比例为 25%,喷吹时间为 15 min。

(下转第 56 页)



图3 热轧卷板制备的高强焊管

4 结束语

采用低碳、铌钛微合金化成分设计及控轧控冷工艺在包钢2 250 mm热轧生产线成功开发出高强焊管用薄规格热轧卷板，其化学成分和轧制工艺设计合理，强韧性匹配良好，具有良好的冷弯性能及焊接性能，能够满足客户高强焊管的生产，已累计供货1 000余t。

参 考 文 献

[1] 黎剑峰，王利树. 直缝焊管在钢结构中的应用前景[J]. 冶金丛刊，2011，(6)：46－50.

[2] 赵培林，路峰，王建景，等. 700 MPa级超高强度汽车大梁用钢研究与开发[J]. 轧钢，2011，28(2)：12－16.

[3] 卢军辉，王晓春，张慧，等. Nb－Ti微合金化610 MPa级汽车大梁钢板工艺研究[J]. 炼钢，2011，27(4)：61－64.

[4] GB/T 10561—2005，钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法[S].

(上接第25页)

参 考 文 献

[1] Nobuyuki Oyama. 烧结工艺使用气体燃料喷入技术减少CO_2排放[J]. 世界钢铁，2013，(1)：16－22.

[2] 周文涛，胡俊鸽，郭艳玲. 日韩烧结技术最新进展及工业化应用前景分析[J]. 烧结球团，2013，38(3)：5－15.

[3] 韩秀丽，吕水，杨光. 不同碱度司家营烧结矿矿相结构特征及其对冶金性能的影响[J]. 河北理工大学学报(自然科学版)，2011，33(1)：22－26.

[4] 郭兴敏，朱利，李强. 高碱度烧结矿的矿物组成与矿相结构特征[J]. 钢铁，2007，42(1)：17－19.