

试验研究

青钢董家口新区开炉烧结优化配矿研究

安秀伟,郑希全,杨小建,王 东,卞小松
(青岛特殊钢铁有限公司,山东 青岛 266409)

摘 要:选取当前主流6种巴西和澳大利亚矿粉,针对青钢董家口新区1 800 m³级高炉进行烧结杯实验和烧结矿的冶金性能检测。结果显示,配比为“20%巴粗粉-15%PB粉-15%巴卡粉-25%扬迪粉-25%FMG特粉”的烧结矿在强度、粒度组成、利用系数等方面的综合性能较好。该配比不同碱度的热态冶金性能检测结果显示,当碱度为1.9时,综合冶金性能较好,满足1 800 m³级高炉的开炉和生产需求。

关键词:烧结;配矿;碱度;粉化性;还原性;软熔性

中图分类号:TF046.4

文献标识码:A

文章编号:1004-4620(2016)02-0026-03

1 前 言

在青岛市统一规划下,青钢于2013年底开始动工实施搬迁,新址位于青岛市黄岛区董家口港区。青钢环保搬迁项目分两期,一期工程设计年产铁水320万t,两座1 800 m³高炉,配套两台240 m²烧结机,焦炭采用先进的7 m顶装干熄焦技术;二期工程计划建设1座2 500 m³高炉。经过1.5 a的建设,目前一期工程已接近尾声,计划1[#]高炉于2015年11月份开炉出铁,同时老区于2015年年底全部实现关停,从而成功实现环保搬迁和转型升级。

青钢属于临港钢铁企业,在当前国际主流矿石性价比优势明显的形势下,有着较强的竞争优势。尤其新区紧邻董家口港,可以实现矿石皮带直接到厂,极大地降低了物流运输成本。但是,从500 m³级的高炉到1 800 m³级高炉的跨越还是给青钢带了不小的压力。为了实现新区高炉的顺利开炉投产,占

炉料结构78%的烧结矿质量至关重要。为此,青钢结合自身环境,针对当前可能用到的不同矿粉及条件进行了筛选,并对其进行了系统的烧结杯实验,对烧结配矿方案进行优化,从而为高炉的顺行以及顺利搬迁创造条件。

2 实验方案

从当前市场看,由于普氏指数处于较低水平,优质主流矿的性价比优势较突出。而印度矿由于含Al₂O₃较高、南非粉含碱金属较高限制了其使用量,巴西矿和澳大利亚矿由于其品位高、杂质少、粒度均匀等优势在目前竞争力较为突出,也是各大钢铁企业烧结配矿的首选。目前市场上主流的巴西矿和澳矿中性价比较高的以PB粉、纽曼粉、巴粗粉、巴卡粉、FMG特粉、扬迪粉6种矿粉为主导,这也是青钢目前以及今后一段时期内的主要烧结用料,其化学成分如表1所示。

表1 6种主流矿粉的主要化学成分(质量分数) %

名称	TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Ni	Cr
巴卡粉	64.68	2.30	1.50	0	0	0.01	0.04	0.116	0.013	0	0	0.002
PB粉	62.00	3.50	2.16	0.03	0.01	0.02	0.09	0.088	0.001	0	0	0.001
纽曼粉	63.39	4.51	1.94	0.03	0.01	0.01	0.06	0.057	0	0	0	0
巴粗粉	62.50	5.00	1.89	0.07	0.02	0.05	0.06	0.088	0.078	0.020	0	0.004
扬迪粉	57.73	5.99	1.62	0.04	0.01	0.01	0.03	0.051	0.008	0.021	0.004	0.006
FMG特粉	57.15	5.93	2.58	0.19	0.07	0.03	0.06	0.088	0.021	0.030	0.003	0.007

生产实践表明,高碱度烧结矿碱度在1.8~2.0、SiO₂含量在4.8%~5.8%时,各项冶金性能较好,强度较高,且符合经济炼铁的要求^[1]。为此分别取碱度为1.8、1.9和2.0, SiO₂含量取4.8%、5.0%、5.4%、5.7%,采用以上6种矿粉进行配矿,并对不同碱度及SiO₂含量的配矿方案进行烧结杯正交实验,具体配

矿方案如表2所示。

3 实验方法

具体实验流程如图1所示。其中烧结杯实验每次所用混合料为40 kg,料层厚度为700 mm,点火温度为1 050 ℃,点火时间1.5 min,烧结负压为11 kPa;烧结矿强度、低温还原粉化性能、还原性均采用通用的国家标准进行检测;软化熔滴性能检测由于目前还没有出台国家标准,本实验以北京科技大

收稿日期:2015-09-18

作者简介:安秀伟,男,1984年生,2013年毕业于北京科技大学冶金工程专业,博士。现为青岛特殊钢铁有限公司炼铁作业部技术科工艺技术主管、工程师,从事炼铁技术研究工作。

表2 烧结杯实验方案配比(质量分数) %

方案	SiO ₂	巴粗粉	PB粉	巴卡粉	杨迪粉	纽曼粉	FMG特粉	返矿	轻烧白云石粉	焦粉	生石灰		
											1.8	1.9	2.0
1	4.8	20	20	20	19	21		15	6.47	4.96	4.73	5.28	5.86
2	5.0	28	15	17	25	15		15	6.40	4.69	5.25	5.85	6.45
3	5.4	30	35		15		20	15	6.67	4.90	5.52	6.12	6.70
4	5.4	20	15	15	25		25	15	6.51	4.90	5.59	6.19	6.76
5	5.7	27	13		30	15	15	15	6.43	4.87	6.32	6.91	7.50

学制定的铁矿石软化熔滴性能试验设备和方法进行检测^[2]。

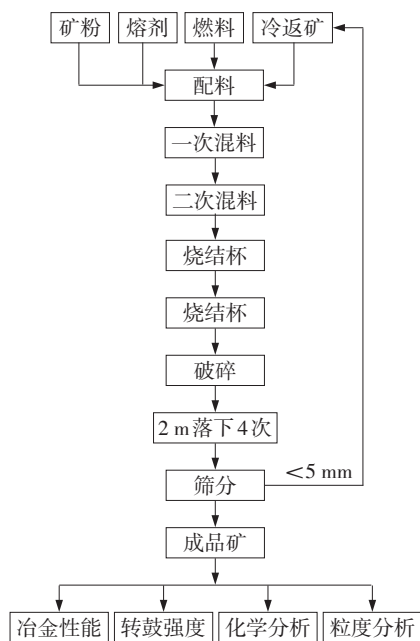


图1 烧结杯实验流程

4 实验结果分析

4.1 烧结杯实验结果分析

不同实验方案烧结杯实验的技术经济指标及成品矿的粒度组成如表3所示。由表3可以看出, 尽管不同实验方案所用的矿种及配比均存在差别, 导致混合料的各项烧结性能存在较大差别, 但是不同实验方案中的SiO₂含量对烧结矿的强度及其粒度组成起到了主导作用。这主要是因为混合料中SiO₂含量的增加, 有利于烧结矿主要粘结相针状铁酸钙的形成。同时, 在同一实验方案中, 随着碱度的增加, 烧结矿的强度也逐渐增加。这主要是因为作为烧结熔剂的CaO含量的增加, 对于烧结过程中液相的生成有促进作用^[3]。因此, 当对烧结矿强度要求较高时, 可以选择硅含量较高的方案5, 且碱度为1.9或2.0时, 其转鼓强度为68.00%, 为5种实验方案中的最大值(尽管该值相对1 800 m³的高炉偏小, 但是实际生产中由于边界效应减弱, 实际转鼓强度要高于此值, 可满足生产需求)。

表3 烧结杯实验各项技术经济指标及成品矿粒度组成

方案	碱度	成品率/%	垂直烧结速度/ (mm·min ⁻¹)	利用系数/ (t·m ⁻² ·h ⁻¹)	转鼓 指数/%	烧结矿粒度组成/%		
						>25 mm	25~10 mm	10~5 mm
1	1.8	84.22	30.21	2.17	62.67	31.15	32.85	21.51
1	1.9	82.50	28.57	2.01	64.00	32.90	30.36	21.62
1	2.0	76.08	27.42	1.79	65.33	32.58	27.21	22.33
2	1.8	69.97	34.15	2.08	57.33	23.97	27.28	26.24
2	1.9	75.50	28.93	1.89	60.00	26.71	27.30	25.53
2	2.0	75.64	28.19	1.86	60.67	25.91	29.02	24.68
3	1.8	79.72	32.11	2.11	64.00	29.38	27.96	22.48
3	1.9	78.58	33.49	2.12	64.67	19.07	34.35	27.89
3	2.0	71.04	34.57	1.92	63.33	18.51	35.14	25.27
4	1.8	81.14	33.54	2.21	63.33	27.50	32.51	23.98
4	1.9	83.87	34.71	2.36	67.33	31.59	32.39	21.63
4	2.0	82.07	34.88	2.35	64.67	27.54	33.52	25.30
5	1.8	77.39	29.37	1.89	66.67	26.49	31.98	23.54
5	1.9	76.92	31.32	1.99	68.00	31.23	30.23	20.55
5	2.0	72.42	32.44	2.00	68.00	26.25	29.96	22.79

而垂直烧结速度和利用系数与混合料中SiO₂含量的关系却并不明显, 这主要是因为垂直烧结速度主要与料层的透气性有关, 而料层透气性主要取决于矿粉的成球性。从6种矿粉的微观形貌来看, 纽曼粉和巴粗粉由于表面较光滑, 吸水能力差, 不利

于制粒成球, 而巴卡粉和PB粉由于表面粗糙, 适宜成球, 对料层透气性有较大的改善作用。因此, 方案4的配比较为理想, 可获得较高的利用系数和较快的垂直烧结速度。同时, 随着碱度的提高, 烧结混合料中熔剂CaO与水形成Ca(OH)₂胶体的数量增

多,可使混合料的透气性得以明显改善。因此,当对烧结矿产量要求较高时,选择含巴卡粉和PB粉较高而含巴粗粉和纽曼粉较低的方案4为宜,且碱度较高时,烧结矿产量较高。

总的来看,方案4和方案5分别在强度和产量上占有优势,但是相比方案5,尽管方案4在转鼓强度上稍显不足,但是由于其利用系数高、硅含量较低,成矿率较高,且在粒度分布上10~25 mm所占比例较高等优势,对于实现高炉精料冶炼、降低烧结能耗和改善高炉透气性方面均具有积极作用,应是重点考虑的方案。

4.2 烧结矿冶金性能分析

在高炉冶炼过程中,不仅需要原料化学成分以及各项冷态性能满足生产要求,当前炉料的各种热态指标也越来越受到了各大钢铁厂的关注。

为了进一步验证方案4所对应的烧结矿的热态性能能否满足青钢新区1 800 m³高炉开炉及生产的需求,对方案4所涉及的3种碱度的烧结矿进行热态冶金性能分析,包括低温还原粉化性能(RDI_{L3.15})、还原度指数(RI)以及软化熔滴性能(T_{10} 、 T_{40} 、 T_d 、 ΔT_A 、 ΔT_d)。实验结果见表4。

表4 方案4配料不同碱度烧结矿的热态冶金性能

碱度	RDI _{L3.15} /%	RI/%	$T_{10}/^{\circ}\text{C}$	$T_{40}/^{\circ}\text{C}$	$T_d/^{\circ}\text{C}$	$\Delta T_A/^{\circ}\text{C}$	$\Delta T_d/^{\circ}\text{C}$
1.8	80.13	81.65	1 084	1 264	1 502	180	238
1.9	78.64	82.98	1 068	1 222	1 500	154	278
2.0	74.87	83.11	1 059	1 221	1 510	162	289

4.2.1 低温还原粉化性能

烧结矿在高炉上部随着还原的不断进行再生赤铁矿还原粉化出现裂纹,高炉透气性变化,进而影响高炉顺行。因此,烧结矿的低温还原粉化指数是衡量烧结矿质量优劣的一个重要评价标准。

由表4可以看出,随着碱度的增加,低温还原粉化指数逐渐降低,且碱度由1.8提高到1.9时,烧结矿低温还原粉化指数的降低幅度要明显低于碱度由1.9提高到2.0时下降的幅度。即在炉身上部随着温度及还原度的增加,烧结矿小颗粒逐渐增多,恶化高炉上部透气性。

4.2.2 还原性

还原性的好坏直接影响到了高炉冶炼的直接还原度,在我国当前原燃料及操作水平下还原性越好,直接还原度就越低,高炉的燃料比也就越低。从表4可以发现,随着烧结矿碱度的提高,其还原性逐渐增加,但是不同碱度的烧结矿还原性指数相差较小,且均在80%以上,还原性较好。

4.2.3 软化熔滴性能

烧结矿的软化熔滴性能直接影响到了高炉软

熔带的薄厚程度、位置的高低以及透气性等。因此,合适的软熔特性对高炉的稳定、顺行、低耗有着重要意义。而其中烧结矿的软化温度区间和滴落温度区间是衡量烧结矿软化熔滴性能的重要指标,对于高炉冶炼而言,在一定的范围内软化和滴落区间越窄,越有利于发展间接还原,同时可以减少软熔带煤气阻力损失,强化高炉冶炼。

从表4可以看出,3个碱度的烧结矿的各项软熔性能均相差不大,且性能较好,其中碱度为1.9时烧结矿的软化温度区间最窄,而碱度为1.8时熔滴温度区间最窄。

总之可以看出,方案4中不同碱度的烧结矿的各项冶金性能检测中各有优势,但是差别不大,且表现良好。综合比较,当碱度为1.9时,低温还原粉化性和还原性适中,软熔性能表现突出,综合优势比较明显,可作为青钢1 800 m³高炉开炉和生产的原料。

5 结 论

5.1 当对烧结矿强度要求较高时,可以选择硅含量较高的方案5,且碱度控制在1.9或2.0较好;当对烧结矿产量要求较高时,选择含巴卡粉和PB粉较高而含巴粗粉和纽曼粉较低的方案4为宜。

5.2 方案4配比中,随着碱度的提高,烧结矿的低温还原粉化指数逐渐降低,而还原性逐渐增加,但不同碱度烧结矿的低温还原粉化性和还原性指标均达到了一级品的标准。

5.3 方案4配比中,3个碱度的烧结矿的各项软熔性能均相差不大,且各项指标表现良好。其中碱度为1.9时烧结矿的软化温度区间最窄,而碱度为1.8时熔滴温度区间最窄。

5.4 采用方案4配比,且控制碱度为1.9时,烧结生产的各项经济技术指标和烧结矿各项冶金性能的综合指标表现较好,可满足青钢1 800 m³高炉开炉和生产的需求,是烧结配矿的首选。

参考文献:

- [1] 项钟庸,王筱留,吴启常,等.高炉设计——炼铁工艺设计理论与实践[M].2版.北京:冶金工业出版社,2009:59-63.
- [2] AN Xiuwei, WANG Jingsong, LAN Rongzong, et al. Softening and Melting Behavior of Mixed Burden for Oxygen Blast Furnace [J]. Journal of Iron and Steel Research International, 2013, 20 (5): 11-16.
- [3] 刘丽娜,韩秀丽.影响烧结矿质量因素的综述[J].河北理工学院学报,2006,28(2):18-22.

(下转第35页)

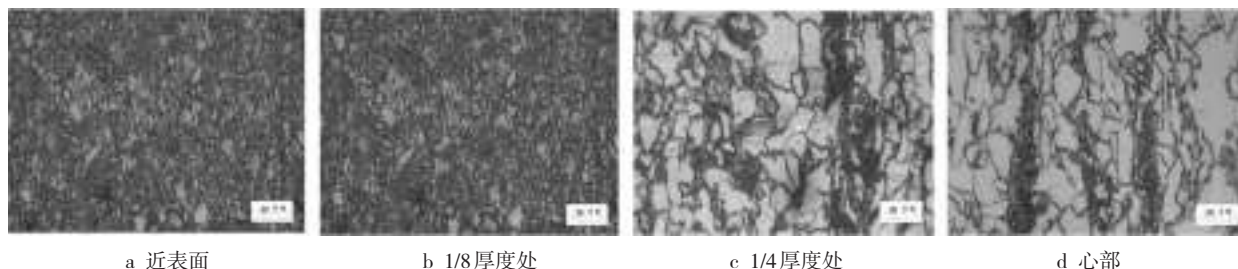


图3 厚度80 mm亚温正火+弱水冷处理后Q460C钢板金相组织

20 mm处至心部组织的影响已可忽略。

3.3 冷弯性能

采用亚温正火+弱水冷工艺处理的Q460C钢板冷弯后试样见图4。冷弯试样凹凸面均未出现开裂、毛刺等缺陷,冷弯性能良好。

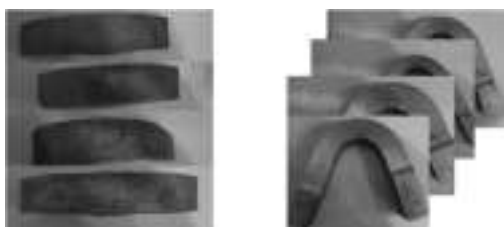


图4 亚温正火+弱水冷处理Q460C钢板试样冷弯后

4 结论

4.1 采用亚温正火+弱水冷工艺处理Q460C低合金高强钢板较常规正火处理钢板,可在控制冶炼成本和能耗的基础上,有效减少强度性能损失达40 MPa以上,从而保证了其强度性能合格率。同时对钢板

的冲击韧性和冷弯性能无损害,断后伸长率略有降低(2%以内)。

4.2 采用亚温正火方式对于钢板微观组织和各项性能改善的影响显著。

4.3 采用弱水冷方式有利于钢板微观组织控制和各项性能改善。但是弱水冷的加速冷却效果无法渗透到厚规格钢板内部,受钢板厚度限制较大。

参考文献:

- [1] 刘青春,朱伏先,任培东.新型细晶强化Q460级中厚板的研制[J].轧钢,2005,22(2):7-9.
- [2] 赵小婷,姚连登,李红斌.正火温度对铁素体珠光体高强钢力学性能影响[J].热加工工艺,2013,42(18):187-188.
- [3] 任海鹏,王立军,刘春明.亚温正火对铁素体珠光体型非调质钢韧性的影响[J].材料与冶金学报,2005,4(1):44-46.
- [4] 刘云旭.金属热处理原理[M].北京:机械工业出版社,1981.
- [5] 何春雨,余伟,郭锦,等.中厚板正火控制冷却系统的设计与应用[J].金属热处理,2008,33(7):86-89.
- [6] 李静,李小占,王京,等.中厚板热处理线的开发与应用研究[J].钢铁,2009(2):83-87.

Influence of Normalizing Control Cooling (NCC) Process on the Microstructure and Properties of Q460C Steel Plates

ZHANG Peng

(The Wide Plate Department of Laiwu Iron and Steel Group Corporation, Laiwu 271104, China)

Abstract: The influence of NCC process on the mechanical properties, microstructure and cold bending property of Q460C Steel Plates for marine engineering was comparatively studied by experiment. The results showed that, after subcritical normalizing and weak water controlled cooling process, the microstructure was refined, the defects were reduced, and the strength loss of plates decreased obviously, the elongation decreased slightly, the low-temperature impact stability improved obviously, and the cold bending property was good.

Key words: Q460C steel plate; subcritical normalizing; weak water controlled cooling; microstructure; strength loss

(上接第28页)

Research on Optimization of Sintering Ore Proportioning for Blowing-in Preparing of Blast Furnace of the New District in Dongjiakou of Qingdao Steel

AN Xiuwei, ZHENG Xiquan, YANG Xiaojian, WANG Dong, BIAN Xiaosong

(Qingdao Special Steel Co., Ltd., Qingdao 266409, China)

Abstract: Six kinds of current mainstream ore from Brazil and Australia were selected to experiment by sintering cup and metallurgical properties testing of sinter, which was used to prepare for the blast furnace blowing-in of the new district in Dongjiakou of Qingdao Steel. The result of sintering cup experiments showed that the sinter, the ratio was "20% SSFT-15% PB Fine-15% SFCJ-25% Yandi Fine-25% FMG Special Fine", had the better combination property, such as the strength, the grain composition, the utilization coefficient, and so on. The results of metallurgical properties testing of different basicity sinter of the above ratio showed that the combination hot metallurgical property of the sinter was better, when the basicity was 1.9. And it could meet the requirement of blowing-in and production of the 1 800 m³ blast furnace.

Key words: sintering; ore blend; basicity; pulverization; reducibility; softening and melting property