

复吹转炉双渣法生产低磷钢工艺实践

王海宝 徐莉 刘春明 宁林新
(首钢技术研究院)

【摘要】 首钢第二炼钢厂通过优化复吹转炉双渣工艺制度,提高转炉前期脱磷效果,在无预处理脱磷设备条件下,可以生产钢材磷含量在0.010%以下的低磷钢,满足钢种对钢质洁净度的特殊要求。

【关键词】 低磷钢 双渣操作 钢质洁净度 复吹转炉

PRACTICE OF PRODUCING LOW PHOSPHORUS STEEL BY DOUBLE SLAG PROCESS IN BOF

Wang Haibao Xu Li Liu Chunming Ning Linxin
(Shougang Research Institute of Technology)

【Abstract】 This article describes the practice of dephosphorization process by double slag method in BOF. The result shows that even without hot metal pretreatment equipment we can reduce the phosphorus content below 0.010% in Shougang NO.2 steel making plant and it meets the requirement of pure steel.

【Key words】 low phosphorus steel, double slag process, steel purity, BOF

1 前言

为了适应全球能源需要的扩大,近年来石油、天然气等海下资源开采量越来越大,而与之对应的海下环境却越来越恶劣,腐蚀性加强。这就要求海下作业的设备,除了有高强度外还要求一定的耐腐蚀性。为了满足海下作业设备用钢的使用要求,低磷钢甚至超低磷钢、超低硫钢的高洁净度化是很重要的,炼钢工艺过程是洁净度控制的关键^[1]。

自步入21世纪首钢逐渐重视品种的开发,并作出了产品结构调整的重大举措,其中高附加值、高技术含量品种(双高)比例逐年提高,目前首钢双高产品的比例已达到了50%以上。不同双高产品对钢质洁净度有不同的要求,如管线钢、帘线钢和轴承钢等钢种对钢水洁净度的要求非常高,尤其是对钢中磷、硫含量的要求更高。为了满足首钢品种开发的需要,在目前工装设备条件一定的情况下,必须在冶炼工艺上进行优化调整。

首钢第二炼钢厂2003年设备改造后设备主要

有铁水喷镁脱硫设备、三座210吨转炉、两台LF钢包精炼炉、一台CAS-OB精炼炉、五台方坯铸机、一台板坯铸机。

虽然钢水中的磷含量主要取决于转炉终点钢水的磷含量及LF精炼炉的回磷情况,但钢水中磷含量的控制仍然是一个系统工程。首钢第二炼钢厂钢质中磷含量的控制主要包括以下几个关键节点:转炉原辅料中磷含量、转炉脱磷控制、转炉终点磷含量变化等方面。

2 铁水硅含量以及原辅料磷含量控制

2.1 铁水硅的影响

入炉铁水硅含量对脱磷过程没有直接影响,但在冶炼过程中铁水硅的氧化产物对炉渣的性质有影响。如铁水中含硅量过高,影响炉渣碱度而不利于脱磷,且硅高增加渣量易引起喷溅。在实践中发现入炉铁水硅含量大于0.50%,极易发生渣溢,严重时出现喷溅。由于前期冶炼时间短熔池温度低,要早化渣、快化渣是很困难的。因此需配加一定的助

作者简介:王海宝,2006年7月毕业于东北大学,现在首钢技术研究院从事炼钢工艺研究,助理工程师。

熔剂萤石,且萤石和石灰需要在吹炼初期投入,以加快形成一定碱度的熔融状态炉渣。

2.2 造渣料磷含量分析

炼钢原辅料磷元素含量分析结果如表 1 所示。

辅料中石灰、白云石、轻烧白云石等含磷量在 0.002%~0.004% 之间,对炼钢过程的增磷影响可

以忽略不记。矿石含磷量较高,最高达 0.070%。首钢第二炼钢厂平均每炉矿石用量在 5 吨左右,通过计算可以得到矿石中磷含量对铁水增磷的影响。矿石的加入,使铁水中的磷增加了 0.0012%,不是影响低磷钢冶炼的主要原因。

表 1

炼钢原辅料含磷量

原料	铁水	铁块	矿石	石灰	白云石	萤石
范围 P (%)	0.070~0.090	0.070~0.220	0.030~0.070	0.003~0.005	0.001~0.004	0.012~0.014
平均值 P (%)	0.081	0.115	0.052	0.004	0.003	0.013

辅料增磷量≈矿石增磷含量

$$= \text{矿石加入量} \times \text{矿石中磷含量} \div \text{出钢量} \times 100\%$$

$$= 5000 \text{ kg} \times 0.052\% \div 210000 \times 100\%$$

$$= 0.0012\%$$

3 转炉冶炼前期脱磷的控制

3.1 炉渣碱度控制

一般高碱度、高氧化铁的炉渣能使钢水磷呈现强烈的氧化趋势(P_2O_5),并与(CaO)结合成稳定的磷酸钙。因此增加渣中 CaO 可以增大 CaO 的活度,降低 P_2O_5 的活度系数,提高磷在渣金间的分配比^[2],如图 1 所示。

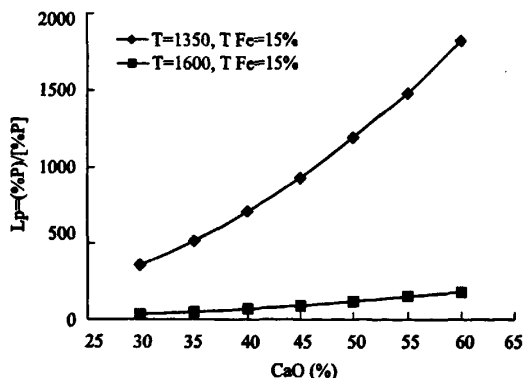


图 1 L_p 和 $CaO\%$ 值之间关系

但在转炉脱磷阶段吹炼过程中,为了保证前期有较好的脱磷效果,倒渣温度不能高,应控制在 1400℃ 以内。在这样的温度下,液态渣的碱度不高,高的碱度会严重恶化炉渣流动性不利于磷的去除。因此片面追求炉渣高碱度,会导致炉渣中固相比例

增大甚至出现结块,从而影响脱磷效果,所以对于脱磷过程的炉渣碱度要合理控制。

统计第二炼钢厂生产高强钢种 SQ550D 冶炼的实际生产数据(见表 2),可以看到在半钢温度和全铁含量相近的条件下,当半钢渣碱度在 2.10~2.53 范围内,脱磷率均在 63% 以上,较其它碱度区间脱磷率高。从理论图 1 及现场试验结果可以看到半钢渣碱度在 2.0~2.5 范围内可以获得较理想的脱磷效果。

表 2 半钢磷含量和炉渣碱度关系

半钢渣碱度	半钢温度 (°C)	过程参数 (%)			
		TFe 含量	铁水 P	半钢 P	脱磷率
1.60	1347	16.02	0.085	0.036	57.65
1.82	1362	15.45	0.079	0.037	53.16
2.10	1358	15.74	0.084	0.031	63.10
2.35	1355	15.08	0.093	0.029	68.82
2.53	1360	15.93	0.082	0.028	65.85
2.76	1353	16.11	0.086	0.034	60.47
2.95	1349	15.58	0.091	0.041	54.95

3.2 温度控制

随温度升高磷在渣金间的分配系数明显减小,如图 2 所示,低温下较低的碱度和炉渣氧化性就可以得到较好的脱磷效果。

温度对磷分配系数的影响应从两方面来看,一方面从热力学角度看,由于去磷是放热反应,高温不利于去磷,而且高温促使脱碳反应速度增大,使渣中 FeO 显著降低,也不利于去磷;另一方面,熔池温度提高,将加速石灰矿石等造渣料的熔化,加强钢渣界面反应。所以从动力学角度来看,过低的温度也不利于去磷。统计现场试验数据如表 3 所示。

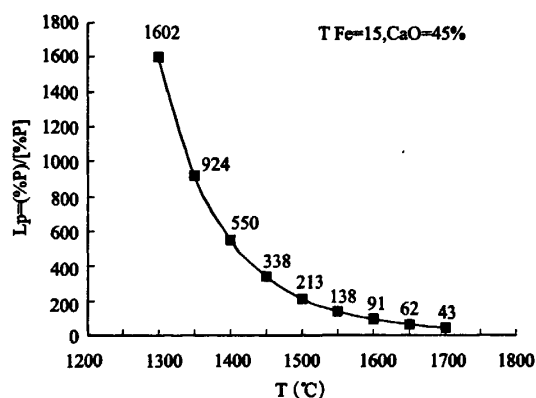
图 2 温度和 L_p 之间的关系

表 3 脱磷率和半钢温度关系

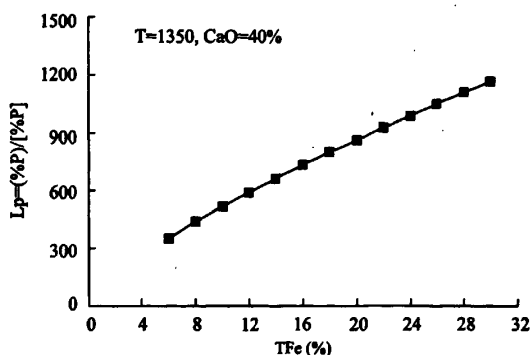
半钢温度 ($^{\circ}\text{C}$)	半钢渣 碱度	过程参数 (%)			
		TFe 含量	铁水 P	半钢 P	脱磷率
1295	2.13	16.20	0.086	0.036	58.14
1342	2.01	16.14	0.083	0.031	62.65
1359	1.97	15.96	0.091	0.031	65.93
1377	2.14	15.85	0.078	0.025	67.95
1405	2.20	16.18	0.085	0.032	62.35
1449	2.18	15.58	0.074	0.047	36.49

从表 3 可以看到当半钢渣碱度及全铁含量相近的条件下,半钢温度在 1342 ~ 1405 $^{\circ}\text{C}$ 范围内脱磷率均在 62% 以上,较其它温度区间脱磷率高。从理论图 2 及现场试验数据可以看到,综合热力学及动力学脱磷因素,第二炼钢厂 210 吨转炉双渣温度控制在 1340 ~ 1400 $^{\circ}\text{C}$ 可以得到流动性良好的炉渣,获得较好脱磷效果。

3.3 炉渣氧化性控制

炉渣的 TFe 含量越高,炉渣氧化性越强,磷在渣铁间的分配比越大。钢液中 [O] 的高低实际上是由熔渣中 FeO 的活度决定。因此,要提高磷在渣金间的分配比,必须提高熔渣 FeO 的活度。在低温、低碱度条件下,(FeO) 的活度系数变化不大,增加渣中 FeO 的浓度是增大 FeO 活度的主要手段,且 FeO 含量高可以增加熔渣的流动性,对脱磷的动力学条件也是很有好处的,如图 3 所示。

现场控制炉渣氧化性可以采取加入矿石和提高吹炼枪位的方法。加矿石量应考虑对熔池温度的影响,提枪吊吹应密切关注炉渣状况,防止产生渣溢甚至喷溅,既影响生产稳定性又会对出钢温度造成较大的损失。从现场试验(如表 4)数据可以发现,随着炉渣氧化性的增强脱磷率提高,试验中个别炉次

图 3 TFe 和 L_p 之间的关系

高枪位吹炼时间较长,TFe 含量在 24% 以上,半钢磷含量为 0.029%,但提枪前发生了严重渣溢现象。因此为了实现生产稳定性,TFe 含量应控制在 14% ~ 20% 之间,此时脱磷率在 60% 以上,可以满足低磷钢生产要求。

表 4 半钢磷含量和炉渣 TFe% 关系

TFe 含量	半钢温度 ($^{\circ}\text{C}$)	半钢渣 碱度	过程参数 (%)		
			铁水 P	半钢 P	脱磷率
12.20	1358	2.08	0.087	0.041	52.87
14.21	1349	2.11	0.083	0.031	62.65
15.45	1362	1.97	0.085	0.033	61.18
17.12	1364	2.20	0.079	0.024	69.62
20.13	1355	2.05	0.085	0.029	65.88
24.22	1354	2.18	0.077	0.022	71.43

3.4 供氧制度与底吹模式对脱磷的影响

为了取得较快的化渣效果,转炉前期吹炼一般采用供氧强度 $\leq 2.5 \text{ Nm}^3/\text{min}$,及变枪位恒流量操作方式,基本处于软吹状态,前期吹炼过程 $\leq 6 \text{ min}$ 。由于炉渣碱度较低及采用软吹模式,因此入炉铁水 $\text{Si} \geq 0.50\%$ 时极易发生喷溅,因此在吹炼过程中预见喷溅发生即要降低枪位,投加矿石压渣;如果吹炼在 5min 以上,不需压渣,提枪摇炉倒渣,尽可能多的多倒富磷渣,防止冶炼后期回磷。

由于双渣前期吹炼应用软吹模式,脱磷动力学条件不足,底吹流量控制直接影响到前期脱磷效果,因此一定强度的底吹流量保证了转炉脱磷的动力学要求。首钢二炼钢转炉底吹模式分 A、B、C 和 D 四种,本操作采用 B 模式,底吹流量为 $800 \text{ Nm}^3/\text{h}$,提枪后再进行 15 ~ 30 S 的底吹搅拌,可以使渣钢充分混合,提高脱磷效果,试验炉次在双渣后半钢磷含量可以控制在 0.030% 以内,最低磷含量为 0.016%。

(下转第 39 页)

表 6 钢丝和钢帘线的强度对疲劳性能的影响

强度级别	抗拉强度 (MPa)	抗拉强度增加 (%)	钢丝疲劳强度 (MPa)	钢丝疲劳强度增加 (MPa)	帘线破断拉力 (N)	破断拉力增加 (%)	帘线疲劳强度 (MPa)	疲劳强度增加 (%)
NT	2850		1033		392		850	
HT	3217	13	1133	9.7	444	13	1053	24
ST	3544	24.4	1250	21	494	26	1200	41

表 6 中钢丝直径 0.30mm, 钢帘线结构为 2×0.30^[6]。

平,逐步加强过程细节的控制能力,整个研发向着标准化、多元化的方向稳步发展。与此同时,企业通过与客户建立技术、检验、销售等人员的定期交流,完善跟踪评价机制,及时处理客户提出的问题,使客户群不断增加,市场得以拓展。相信在不久的将来,我国的帘线钢生产将会在世界范围取得瞩目成就。

参考文献

1. 康 昕. 我国钢帘线的生产情况及国内外钢帘线生产技术[J]. 钢铁技术,2006,(6):1~4

[2. 萧忠敏. 武钢炼钢生产技术进步概况[M]. 北京:冶金工业出版社,2003. 282~285
[3. 余蓉,吴玮,郭永铭,张新宝. 钢帘线钢的生产与发展[J]. 特殊钢,2005,26(6):1~4
4. 王承宽. 钢帘线钢的生产[J]. 钢铁技术,2003,(6):1~4
5. 黄禹明. 攀钢方坯连铸工艺生产帘线钢的可行性[J]. 钢铁钒钛,2004,25(1):51~56
6. 周良. 白俄罗斯钢帘线的生产发展[J]. 金属制品,2006,32(1):27~29
7. 徐典伟,魏明. 国内金属制品用线材现状及其发展方向[J]. 天津冶金,2007,(4):11~16

(上接第 31 页)

4 转炉冶炼后期及终点磷含量的控制

4.1 防止后期炉渣返干回磷

在冶炼后期,由于熔池温度升高,碳氧反应剧烈,炉渣中的 FeO 含量降低,容易产生炉渣返干现象,造成后期回磷。为了防止产生后期回磷,应该分批次少量加入矿石,以保持熔池平稳升温,调整渣中 FeO 的含量,并且适当提高枪位促进化渣,少量加入萤石提高炉渣流动性,防止炉渣过度泡沫化而从炉口溢出。

4.2 等样出钢过程回磷控制

拉碳终点取样工测温、取样,样品检测时间 2 min 左右,在等样出钢的过程中,较大的底吹会提高渣中 FeO 和钢液中碳元素的反应速率,尤其是高碳出钢时会恶化渣况,造成较严重的回磷现象,本阶段回磷量最高时达到 0.003%,对于冶炼低磷高碳钢种极为不利,对低碳低磷钢种也有较大影响。因此,在等样出钢的过程中,可以适当降低底吹流量,并且拉碳或后吹后根据化渣情况倒掉部分富磷渣,降低

等样过程和出钢下渣回磷量。

5 结语

通过理论计算与现场试验相结合,要稳定控制钢材磷含量在 0.010% 以下主要通过以下措施:

(1) 通过优化转炉双渣前期工艺,合理控制炉渣的碱度(2.0~2.5)、温度(1340~1400℃)和 TFe(14%~20%)含量,可以获得较高的脱磷率,脱磷效果较理想;

(2) 若要稳定得到[P]≤0.010% 的钢水,出钢时需要控制[P]≤0.007%,要控制好前期脱磷和后期回磷;

通过提高双渣前期脱磷效果,在无预处理脱磷设备的情况下,可以在首钢第二炼钢厂稳定的生产钢材磷含量在 0.010% 以下特殊要求的品种钢。

参考文献

1. 低磷钢. 低硫钢制造工艺. 世界金属导报,2008,46
2. 黄希枯. 钢铁冶金原理. 北京:冶金工业出版社,1990:194