

· 工艺技术 ·

低磷低硅铁水 180 t 复吹转炉冶炼高磷钢的工艺优化

管 挺¹ 邹长东¹ 程奎生² 王建华²

(1 江苏省(沙钢)钢铁研究院,张家港 215625;2 沙钢集团有限公司宏发炼钢厂,张家港 215625)

摘 要 在统计分析了转炉前期炉渣碱度和钢水温度,终点炉渣碱度、终渣全铁含量和终点钢水温度对脱磷率影响的基础上,优化了 0.29% Si, 0.085% P 铁水 180 t 复吹转炉的高磷钢冶炼工艺。200 炉冶炼结果表明,通过使用低枪位使钢水快速脱碳升温,控制前期炉渣碱度 ≥ 2.2 、终点炉渣碱度 2.8~3.2,终点炉渣全铁含量 $\leq 17\%$,转炉出钢温度 1 650~1 680 °C,可控制脱磷率 $\leq 60\%$,终点钢水磷含量均值为 0.035%。

关键词 180 t 复吹转炉 低磷低硅铁水 高磷钢 工艺优化

Optimization of Process for 180 t Top and Bottom Combined Blown Converter Steelmaking High-Phosphorus Steel with Low phosphorus and Low Silicon Metal

Guan Ting¹, Zou Changdong¹, Cheng Kuisheng² and Wang Jianhua²

(1 Institute of Research of Iron and Steel, Jiangsu Province (Shasteel), Zhangjiagang 215625;

2 Hongfa Steelmaking Plant, Shasteel (Group) Co Ltd, Zhangjiagang 215625)

Abstract Based on statistic-analyzing the effect of converter earlier stage slag basicity and liquid temperature, end slag basicity, total iron content in end slag and end liquid temperature on dephosphorization rate, the process for 180 t top and bottom combined blown converter steelmaking high-phosphorus steel with 0.29% Si and 0.085% P metal has been optimized. The 200 heats steelmaking results show that with the measures including using low lance level blowing to quickly decarbonize and raise the temperature of liquid in bath, controlling earlier stage slag basicity ≥ 2.2 , end slag basicity 2.8~3.2, end total iron content in end slag $\leq 17\%$ and converter tapping temperature of liquid 1 650~1 680 °C, it is available to control the dephosphorization rate $\leq 60\%$ and the average phosphorus content in end liquid is 0.035%.

Material Index 180 t Top and Bottom Combined Blown Converter, Low Phosphorus and Low Silicon Metal, High Phosphorus Steel, Process Optimization

沙钢转炉冶炼高磷钢采用常规方法组织生产,转炉终点出钢磷含量大约为 0.018%,出钢补加磷铁对钢水进行磷合金化,此工艺磷的回收率低,冶金工艺流程长,未能充分利用铁水中的磷资源,造成资源的浪费,增加了冶炼成本。

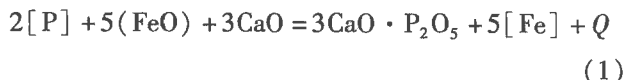
国内各钢厂对高磷出钢工艺进行了一定的研究,如采用较低的炉渣碱度(1.8~2.5)、较高的出钢温度(1 690~1 710 °C)等工艺优化,使转炉达到高磷出钢的目的。此工艺由于较高的温度和较低的炉渣碱度,对转炉炉衬有较大影响,故文中指出,在 1 座转炉连续冶炼炉数不能超过 3 炉^[1]。梅钢采用中高磷铁水(0.2%~0.25%),并适当控制石灰的加入量,结合特定的枪位来达到转炉高磷出钢的目的^[2]。鞍钢公司采用生白云石和轻烧白云石来代替石灰、控制较低的炉渣碱度(3.0 以下,均值在 2.5 左右)、较高的出钢温度(1 692~1 716 °C)和优化枪位来达到转炉高磷出钢的目的^[3]。

针对沙钢低磷低硅的铁水条件,并为了保护转

炉炉衬,需控制一定的炉渣碱度和终点出钢温度,为达到转炉高磷出钢的目的,需制定一套适合沙钢特点的工艺。本文通过对转炉冶炼过程脱磷规律的研究,分析了转炉前期炉渣、半钢温度、终点炉渣碱度、全铁含量以及终点出钢温度对转炉脱磷率的影响,制定出转炉高磷出钢工艺,控制转炉终点磷含量在 0.035% 左右。

1 转炉脱磷率的影响因素

复吹转炉炼钢的脱磷反应式为^[4-5]:



$$\lg \frac{[P]}{[P]} = \frac{22\ 350}{T} - 24.0 + 7\lg(CaO) + 2.5\lg(TFe) \quad (2)$$

从公式(1)和公式(2)中可看出,脱磷的有利条件:(1)提高 CaO 含量,即提高炉渣碱度;(2)提高渣中的氧化铁含量-(FeO),即提高炉渣氧化性;

(3)因脱磷反应是放热反应,所以低温对脱磷有利。

转炉吹炼前期,熔池温度较低,而渣中具有较高的(FeO)和炉渣碱度,是转炉的快速脱磷时期。在转炉吹炼中期,随着碳氧反应的进行,熔池温度逐渐升高,而(FeO)逐渐减低,脱磷反应变慢,甚至会有回磷现象。在转炉吹炼后期,随着钢水中碳含量的降低,熔池中碳氧反应趋缓,加入的石灰基本都已熔化,此时炉渣中具有较高的碱度和(FeO),有利于脱磷反应的进行,故吹炼后期也是快速脱磷期。

可以看出,为了抑制转炉中脱磷反应的进行,主要是控制熔池温度,炉渣的(FeO)和碱度,加快转炉的脱碳反应迅速提高熔池温度,抑制脱磷反应的进行。为了制定更合理的高磷出钢工艺,需对转炉冶炼过程的脱磷规律进行研究。

沙钢宏发炼钢厂采用铁水脱硫-180 t复吹转炉-180 t LF精炼-180 t RH真空精炼-连铸的工艺组织生产,主要冶炼钢种为SPHC系列、硅钢系列、耐候钢等,其中2012年高磷钢产量达到80多万吨。公司炼钢车间使用的铁水成分如表1所示。

通过对转炉脱磷规律的理论分析,转炉脱磷主要与炉渣碱度、全铁含量以及熔池温度相关。本文研究了炉渣碱度、全铁含量以及熔池温度对脱磷率的影响。另外,转炉吹炼前期是熔池的快速脱磷期,如何减少前期的脱磷率也十分关键,本文对转炉吹炼前期的脱磷规律也进行了一定的研究。实验方法如下:

在复吹转炉吹炼前期的供氧量在 $14 \sim 19 \text{ m}^3/\text{t}$ 和吹炼终点采用副枪测温,取钢水样并在倒渣期间通过将长金属棒插入转炉,带出黏附在金属棒四周的炉渣取出炉渣样,待炉渣在空气中自然冷却凝固后进行分析。

1.1 前期炉渣碱度和钢水温度

进行35炉取前期渣和半钢样实验,对前期钢水温度和炉渣碱度的分析,得到的实验结果如图1所示。

从图1(a)中可以看出,前期炉渣碱度控制在 $1.5 \sim 1.8$,可使脱磷率达到60%以上。炉渣碱度在 $1.0 \sim 1.5$ 时,随着碱度的增加,脱磷率逐渐提高,但是当碱度超过1.8时,炉渣脱磷率随碱度的增加而减少。为了降低转炉吹炼前期的脱磷率,需将炉渣碱度

表1 沙钢炼钢车间使用的铁水成分和温度

Table 1 Analysis and temperature of metal used at steel-making shop, Shasteel

项目	成分/%					温度/ °C
	C	Si	Mn	P	S	
含量	4.1~ 4.5	0.1~ 0.7	0.1~ 0.3	0.075~ 0.110	< 0.01	1 250~ 1 450
均值	4.34	0.29	0.174	0.085	0.005	1 350

控制在1.5以下或者提高到2.0以上。转炉吹炼前期,由于铁水中的硅大量氧化,增加了炉渣中的酸性物质,对炉渣侵蚀严重,在控制前期脱磷率小于50%的前提下,为了有效的保护炉衬,需将炉渣碱度控制在2.2以上。

从图1(b)中可以看出,当温度超过 $1360 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,随着半钢温度的升高,脱磷率逐渐降低,当半钢温度超过 $1420 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,脱磷率低于50%。转炉吹炼前期采用低枪位冶炼,促进碳氧反应的进行,可使熔池温度快速上升,从而抑制铁水磷的氧化,降低转炉的脱磷率。

另外,终点炉渣成分对转炉终点脱磷率有很大的影响,收集40炉实验数据统计分析转炉终点炉渣碱度、全铁含量以及终点钢水温度对转炉脱磷率的影响。

1.2 终点炉渣碱度

钢水中的磷被氧化进入渣中,主要与炉渣中的CaO结合生产 $4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$,在炉渣流动性良好的情况下,炉渣碱度越高,脱磷率越高。转炉终点炉渣碱度对脱磷率的影响,如图2(a)所示。

由图2(a)可以看出,炉渣碱度基本分布在 $2.8 \sim 3.5$,随着炉渣碱度的增大,脱磷率逐渐变大,当炉渣碱度超过3.5,脱磷率超过70%。当炉渣碱度低于3.2,脱磷率小于60%,转炉终点磷含量可达到0.035%以上。但是,过低的炉渣碱度,对炉衬侵

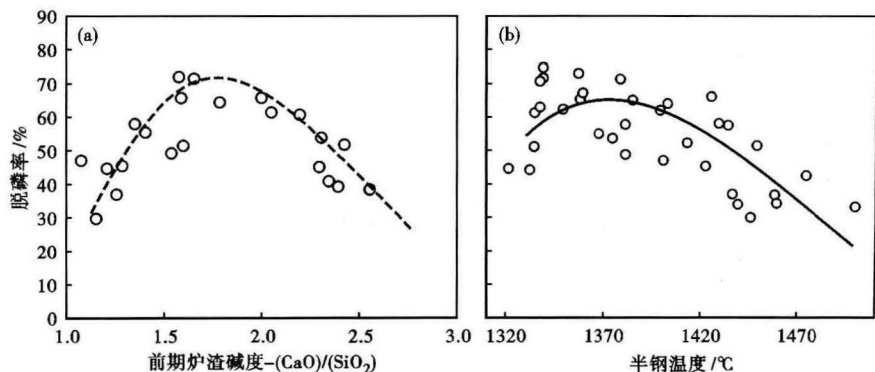


图1 前期炉渣碱度(a),前期半钢温度(b)对前期脱磷率的影响

Fig. 1 Effect of earlier stage slag basicity (a) and earlier stage semisteel temperature (b) on dephosphorization rate in earlier stage

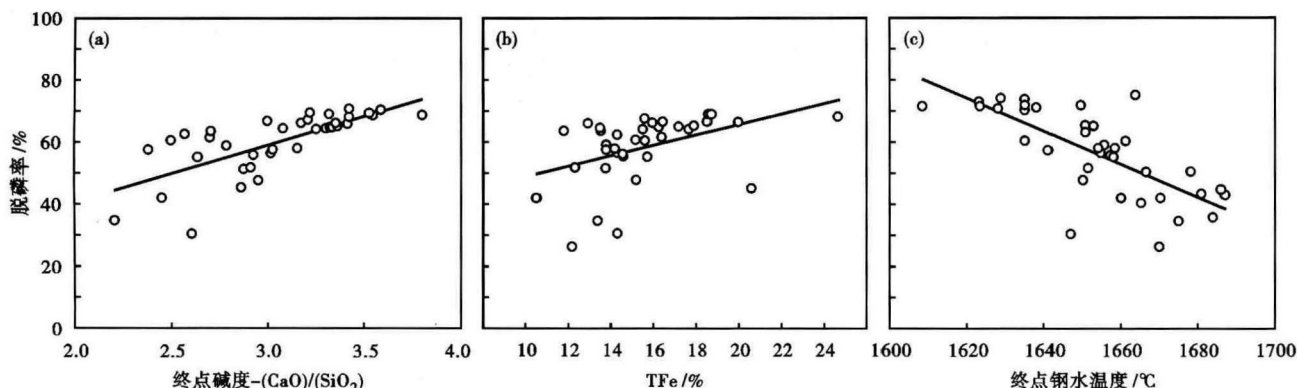


图 2 终点炉渣碱度(a),渣中全铁含量(b)和终点钢水温度(c)对脱磷率的影响

Fig. 2 Effect of end slag basicity (a), total iron content in slag (b) and end liquid temperature (c) on dephosphorization rate

蚀严重,为考虑炉衬的影响,将炉渣碱度定在 2.8 ~ 3.2,同时控制炉渣 MgO 含量超过 12%。

1.3 终渣全铁含量

转炉脱磷的一个很关键的因素为终渣全铁含量。炉渣中的 FeO 既是钢水中磷的氧化剂,也是石灰溶解的助熔剂。一般情况下,渣中 FeO 含量越高,脱磷率越高。实验结果显示终渣中全铁含量对脱磷率的影响如图 2(b) 所示。

由图 2(b) 可以看出,转炉终渣里全铁含量在 12% ~ 20%,基本在 14% ~ 17%,炉渣全铁含量均值为 16.3%。随着炉渣全铁含量的增大,转炉脱磷率逐渐升高。当全铁含量达到 18% 以上,脱磷率大于 70%。为了提高转炉终点钢水中的磷含量,需降低转炉冶炼过程后期的枪位,减少炉渣中的全铁含量。降低炉渣全铁含量同时可增加铁的收得率,并可减少钢铁料的消耗。

1.4 终点钢水温度

转炉脱磷反应是放热反应。高温有利于保磷,转炉终点温度越高,脱磷率越低,并且可增加转炉回磷。转炉终点出钢钢水温度对脱磷率的影响如图 2(c) 所示。

由图 2(c) 可以看出,随着温度的升高,转炉脱磷率降低。当终点钢水温度超过 1 650 °C 时,脱磷率基本低于 60%。为提高转炉终点钢水磷含量,转炉出钢温度越高越好。但是,过高的温度会加剧炉衬的侵蚀,将温度控制在 1 650 ~ 1 680 °C,能较好的保护炉衬并能将钢水磷含量控制在 0.035% 左右。

2 工艺优化措施和应用效果

通过对转炉吹炼过程脱磷规律的研究,并根据沙钢的低磷低硅铁水条件,转炉冶炼时为了保磷,需控制转炉吹炼前期的炉渣碱度;前期快速升温,缩短

熔池低温时间,减少转炉脱磷反应的时间;降低转炉终点炉渣碱度;提高转炉终点熔池温度;控制转炉吹炼过程的底吹强度。以上措施均能有效的降低转炉的脱磷率,根据以上的原则,得到如下的保磷措施:

(1) 优化加料方案

为考虑炉衬的保护,将炉渣碱度控制在 2.8 ~ 3.2,渣中 MgO 含量控制 12% 以上。轻烧白云石和石灰分批加入,头批料加入控制前期碱度在 2.2 以上,剩余量分批在中期适时加入。吹炼前期不加冷却剂,若需调整温度,控制喷溅,可在吹炼中期加入部分污泥球,整个吹炼过程不加球团。

(2) 吹氧流量控制

提高供氧流量,加速碳氧反应的进行,使熔池快速升温以达到抑制脱磷反应进行的目的。控制吹炼过程吹氧流量在 39 000 m³/h 以上。

(3) 枪位控制

整个过程采用低枪位进行冶炼,根据不同的铁水硅含量和铁水温度,制定适宜的枪位制度,使转炉较快的升温,并能控制炉渣中的氧化铁的含量。

(4) 底吹控制

根据转炉冶炼过程各阶段脱磷情况,对底吹流量的控制分阶段进行控制,前 300 s 流量控制在 300 m³/h,300 ~ 600 s 流量控制在 650 m³/h, > 600 s 流量控制在 300 m³/h。

(5) 终点控制

终点温度越高,转炉脱磷率越低,控制转炉终点温度在 1 650 °C 以上,出钢碳含量控制在 0.04% ~ 0.08%。

优化后的工艺,转炉铁水比、装入量和出钢量基本维持不变。

根据上述优化工艺,炼钢车间进行了批量试生产试验,统计常规工艺和高磷出钢工艺各 200 炉,如

表2 高磷出钢工艺和常规工艺各项冶炼指标的对比
Table 2 Comparison of each melting index between high phosphorus tapping process and convention tapping process

工艺	[Si] 钢水/ %	[P] 终点/ %	T 终点/ ℃	碱度	(MgO)/ %	TFe/ %
常规	0.35	0.018 0	1 627	3.4	10.8	18.0
高磷出钢	0.36	0.035 0	1 653	3.0	13.3	16.3

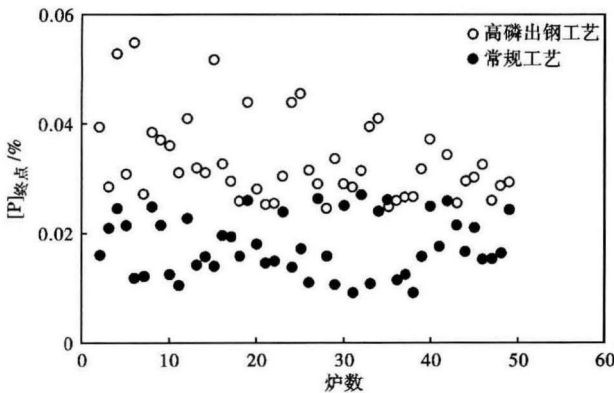


图3 高磷出钢工艺和常规工艺转炉终点磷含量的对比
Fig. 3 Comparison of converter end phosphorus content between high phosphorus tapping process and convention tapping process

表3 高磷出钢工艺和常规工艺原料消耗的对比
Table 3 Comparison of row material consumption between high phosphorus tapping process and convention tapping process

工艺	[Si] 铁水/ %	石灰消耗/ (kg · t ⁻¹)	轻烧消耗/ (kg · t ⁻¹)	磷铁消耗/ (kg · t ⁻¹)	TFe/ %	渣量/ (kg · t ⁻¹)	钢铁料消耗/ (kg · t ⁻¹)
常规	0.35	25.5	15.3	1.63	18.0	85	1 064.8
高磷出钢	0.36	17.5	17.0	1.37	16.3	80	1 062.4

表2所示。

从表2中可以看出,采用高磷出钢工艺冶炼高磷钢种,渣中全铁含量减少1.7%;渣中MgO含量均值超过12%,达到13.3%。转炉终点磷含量在0.025%~0.060%,均值为0.035%,较常规工艺提高0.017%,高磷出钢工艺和常规工艺转炉终点磷含量的对比如图3所示。

通过高磷出钢工艺的实施,转炉冶炼高磷钢在

各项指标上均有提高。高磷出钢工艺和常规工艺原料消耗的对比如表3所示,炉渣全铁含量为12%~20%,基本在14%~17%,均值为16.3,较常规工艺减少1.7%;吨钢石灰消耗和轻烧白云石消耗共降低6.3 kg;吨钢磷铁消耗降低0.26 kg;钢铁料消耗降低2.4 kg/t;经过计算,高磷出钢工艺可节省成本10.2元/t。

3 结论

(1) 终点炉渣碱度越高,脱磷率越高。当炉渣碱度低于3.2,转炉脱磷率基本在60%以下。

(2) 终点炉渣全铁含量越高,脱磷率越高。将炉渣全铁含量控制在17%以下,转炉脱磷率基本在60%以下。

(3) 转炉终点出钢温度越高,脱磷率越低。当温度超过1 650℃,转炉脱磷率基本在60%以下。

(4) 通过转炉高磷出钢工艺的优化,转炉终点[P]可控制在0.035%左右。

参考文献

[1] 王羽,林利平,王安军,等.控制高磷钢终点 $\omega(\text{P})$ 的实践[J].钢铁研究,2013,41(1):49-51.
[2] 赵国光,左康林,郭振和.梅钢转炉低成本冶炼SPA-H[C].北京:中国钢铁年会论文集,2005:174-177.
[3] 刘文飞,李超,马宁,等.经济性冶炼含磷耐候钢的工艺开发[J].鞍钢技术,2011(6):23-25.
[4] 王金平,吴建鹏,李小明,等.转炉高碳低磷钢工艺研究与应用[J].炼钢,2007,23(2):7-10.
[5] 陈家祥.钢铁冶金学炼钢部分[M].北京:冶金工业出版社,2006.

管挺(1985-),男,硕士(重庆大学),2007年河南科技大学(本科)毕业,转炉炼钢研究。

E-mail: guanting1999@163.com

收稿日期:2014-06-05

欢迎订阅 2015 年《特殊钢》杂志

全国各地邮局均可订阅(可破订)

邮发代号:38-183

定价:16.00元/期 96.00元/年

邮编:435001

地址:湖北省黄石市黄石大道316号新冶钢-大冶特殊钢股份有限公司《特殊钢》杂志社