

70 t 电弧炉热兑转炉液态渣的工艺实践

俞海明 解英明 陈跃军 段建勇 胡永胜 兰飞鹏 李 栋 王瑞利

(宝钢集团新疆八一钢铁股份公司第二炼钢厂, 乌鲁木齐 830022)

摘 要 转炉液态渣的碱度(CaO/SiO_2)一般为2.8~4.2,热容 $2.5 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$,进入渣罐后的炉渣温度约为 1540°C ,有良好的导电性,可以利用其热能和氧化钙。当70 t电弧炉兑加120 t转炉液态渣8 t,可使平均冶炼周期由52 min降至47 min,电耗由 $400 \text{ kWh}/\text{t}$ 降至 $355 \text{ kWh}/\text{t}$,石灰加入量由3.6 t降至1.0 t,氧气消耗由 $28 \text{ m}^3/\text{t}$ 降至 $25 \text{ m}^3/\text{t}$,可有效地节约资源和减少炉渣的排放。

关键词 转炉液态渣 电弧炉 炉渣热兑工艺 电耗 石灰消耗

Process Practice of BOF Molten Slag Charging in a 70 t Electric Arc Furnace

Yu Haiming, Xie Yingming, Chen Yuejun, Duan Jianyong, Hu Yongsheng,

Lan Feipeng, Li Dong and Wang Ruili

(No2 Steelmaking Plant, Xinjiang Bayi Iron and Steel Co Ltd, Baosteel Group, Wulumuqi 830022)

Abstract Generally the basicity (CaO/SiO_2) of molten slag of BOF is 2.8~4.2, of which the heat capacity is $2.5 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$, the temperature of slag as entering slag pot is about 1540°C , and the molten slag has nice conductivity, therefore it is available to use molten slag's heat energy and calcium oxide. As 8 t molten slag of 120 t BOF is charged in 70 t electric arc furnace for arc furnace steelmaking, the average tap to tap time, electric consumption, lime adding amount and oxygen consumption decrease respectively from 52 min, $400 \text{ kWh}/\text{t}$, 3.6 t and $28 \text{ m}^3/\text{t}$ to 47 min, $355 \text{ kWh}/\text{t}$, 1.0 t and $25 \text{ m}^3/\text{t}$, it is available to save the resource and decrease the slag discharged.

Material Index BOF Molten Slag, Electric Arc Furnace, Hot Slag Charging Process, Electric Consumption, Lime Consumption

转炉渣的碱度和电弧炉渣的碱度各不相同,其中转炉渣的二元碱度在2.8~4.2,渣中氧化镁的含量维持在8%~14%。维持较高的碱度是为了保持炉渣有较强的向熔池传递氧的能力,在钢渣界面进行脱磷脱碳,以及满足溅渣护炉之需求。

电弧炉渣的二元碱度最佳范围在2.0~2.5,渣中氧化镁含量在4%~8%,其冶金功能除满足电弧炉脱磷脱碳的需求以外,主要工艺目的是促使炉渣具有最佳的发泡高度,其中氧化镁起到调整炉渣流动性和增加炉渣中间发泡质点的作用。

传统的转炉液态渣中含有大量的物理热,处理方法是热泼、热闷,浅盘,滚筒渣、风淬等方法进行处理,其中热能回收利用效率较低。宝钢集团新疆八一钢铁股份公司第二炼钢厂根据这两种不同钢渣的特点,实施了电弧炉热兑转炉液态渣的工艺,工艺实施以后,收到了预期的工艺效果,每炉仅石灰消耗和电耗的降低可节约冶炼成本2400元以上。

1 工艺技术参数

(1)转炉:

转炉的公称容量- $3 \times 120 \text{ t}$;转炉的冶炼周期- $28 \sim 42 \text{ min}$;转炉渣量- $102 \text{ kg}/\text{t}_{\text{钢}}$;转炉使用的渣罐- 11 m^3 铸钢渣罐;转炉渣的处理方法-55%的钢渣滚筒渣处理,45%的钢渣热泼处理。

(2)电弧炉:

电弧炉型式-70 t-DC-EBT-EAF;出钢量-70~90 t;留钢留渣量-6~15 t;加料方式-炉盖旋开式由料篮分1~3次加入铁水、废钢及渣料;供氧方式-自耗式C-O枪(2支氧枪1支碳枪);变压器容量-62 MVA;自耗式氧枪氧气流量- $3000 \sim 6000 \text{ m}^3/\text{h}$ 可分3档调节;电弧炉吨钢的渣量- $140 \text{ kg}/\text{t}_{\text{钢}}$;电弧炉渣的处理方法-炉坑热泼。

2 电弧炉热兑转炉渣的可行性分析

2.1 转炉渣量和电弧炉渣量的定量分析

第二炼钢厂的3座120 t转炉每炉加入3.5~5 t的石灰,3.5 t左右的白云石,典型的转炉渣的成分见表1。

转炉渣量 W 测算按照加入炉内的石灰、白云石中的氧化钙含量为支出项,然后取样分析冶炼过程

表1 转炉渣成分和碱度
Table 1 Ingredient and basicity of BOF slag

成分/%						CaO/ SiO ₂
CaO	SiO ₂	P ₂ O ₅	TFe	MgO	MnO	
40 ~ 43.5	10 ~ 14	0.9 ~ 1.2	8 ~ 25	4 ~ 14	1.8 ~ 2.4	2.8 ~ 4.2

中测温取样时的渣样,以渣中分析出的氧化钙为收入项,进行平衡计算,计算公式(1):

$$W = \frac{Q_1 \times \gamma_1 + Q_2 \times \gamma_2}{\gamma_3} \quad (1)$$

式中: Q_1 -转炉冶炼过程中石灰的加入量; γ_1 -石灰中氧化钙的含量; Q_2 -白云石的加入量; γ_2 -白云石中氧化钙的含量; γ_3 -转炉渣中氧化钙的含量。

计算结果表明,120 t 转炉的每炉渣为 12 t,即吨钢 100 kg 的水平,其中炉渣进入渣罐以后,渣罐内壁形成一层 3 ~ 12 cm 的凝固渣层,其质量在 3.5 ~ 5 t。这一点在随后电弧炉炉前的 110 t 行车上的称量系统的统计中得到了证实,计算和实践结果一致。

考虑到直流电弧炉对于炉料的导电性要求,制定工艺思路,以电弧炉兑加转炉液态渣为主,兑加转炉液态渣的量按照每炉兑加 10 t 计算渣中含有氧化钙和氧化镁等影响冶炼进程的成分含量。计算以渣中组分有利于减少工艺风险的最小值进行,比如氧化钙按照转炉渣中的最小值,二氧化硅按照最大值进行。计算结果如下:

$$\text{CaO} = 10 \text{ t} \times 40\% = 4.0 \text{ t}$$

$$\text{MgO} = 10 \text{ t} \times 10\% = 1.0 \text{ t}$$

$$\text{SiO}_2 = 10 \text{ t} \times 14\% = 1.4 \text{ t}$$

即兑入 10 t 的转炉液态渣,带入电弧炉冶炼所需 4.0 t 的 CaO 和 1.0 t 的 MgO,以及对于电弧炉起到不良作用 1.4 t 的 SiO₂。

使用同样的方法可以计算出电弧炉每炉渣中的二氧化硅的总量,来确定电弧炉渣的碱度,以利于工艺的调整。

经过计算得出,70 t 电弧炉每炉冶炼产生的二氧化硅总量(S)在 1.2 ~ 1.4 t。

2.2 电弧炉热兑转炉渣以后电弧炉渣碱度的控制

通过上述的计算可知,热兑 10 t 转炉渣带入的氧化钙含量为 4.0 t,电弧炉冶炼产生和转炉渣带入的二氧化硅的总量最大值为 2.8 t,显然仅靠转炉渣热兑是不能够保证电弧炉冶炼所需要的碱度,需要

添加部分的石灰来保证平衡。加入不同数量的转炉液态渣(W),需要添加石灰量(G)的计算方法为:

$$G = \frac{W(2\beta - \gamma_3) + 2S}{\gamma_1 - 2\sigma} \quad (2)$$

式中:S-电弧炉炉料冶炼过程中产生二氧化硅的量/t; β -转炉液态渣中二氧化硅的质量/%; σ -石灰中二氧化硅的质量/%。

热兑 6 t 的转炉液态渣,电弧炉为保持氧化钙满足 2.0 碱度,需要补加 1.5 t 的石灰,即可满足冶炼的工艺要求。

2.3 电弧炉热兑转炉液态渣的工艺路线

目前由于电弧炉生产线仅有 2 部 110 t 行车,1 部加废钢,1 部加铁水,故兑加转炉液态渣的工艺受行车运力的影响,只能在全废钢冶炼的时候进行。实行此工艺时,1 部行车兑加转炉渣,1 部加废钢,其工艺措施如下:

(1)采用此工艺时,对于废钢的配加没有特殊要求,为了减少意外损失,首次试验钢种为 HRB 335 ~ 400、HPB335;

(2)转炉出渣以后,渣罐上沿有 300 mm 的安全距离,利用拉罐车拉运到 70 t 电弧炉生产线;

(3)电弧炉出钢以后,在加入废钢以前兑入转炉液态渣,包括渣壳,然后再按照加入第 1 篮和第 2 篮废钢的正常工艺进行冶炼;

(4)电弧炉配料,第 1 篮料不加石灰,第 2 篮加入石灰 1 000 ~ 1 500 kg。

3 工艺实践结果

2011 年 10 月 21 日开始工艺实践,转炉出渣以后,由专用的拉罐车拉运到电弧炉生产线,电弧炉出钢结束后,直接兑加转炉液态渣 6 ~ 9 t,然后按照加入第 1 篮和第 2 篮废钢的正常工艺进行冶炼,工艺过程为:渣罐从转炉生产线拉运到电弧炉生产线→行车吊起以后向电弧炉炉内兑加→进入正常的冶炼程序。

实践结果表明,兑加 6 ~ 9 t 的转炉液态渣以后,具体的效果为:

(1)电弧炉的实际冶炼周期 45 ~ 47 min,和没有兑加转炉液态渣的全废钢冶炼相比,冶炼周期缩短 3 ~ 5 min。

(2)冶炼过程中典型的特点是兑加转炉液态渣以后,电弧炉总装入量在 70 ~ 85 t,电弧炉的熔化期明显缩短。第 1 篮料加入 45 ~ 55 t 的废钢,送电 5 ~ 8 MWh 即可熔清,同比条件下缩短 2 min;第 2 篮料

加入 25 ~ 35 t 废钢以后, 送电总量达到 10 ~ 15 MWh, 废钢炉料全部熔清, 能够顺利进行泡沫渣的吹氧喷吹碳粉的操作, 冶炼过程中渣量较大。出钢量在 68 ~ 77 t, 对于钢铁料的影响不明显。

(3) 与相同装入量的全废钢冶炼相比, 节能效果明显, 热兑炉渣的比例(兑加钢渣占所有物料的质量百分比)增加 1%, 吨钢电耗下降 4.4 ~ 5.5 kWh。冶炼电耗和热兑炉渣量之间的回归关系为:

$$P = \frac{1}{1\ 000} [T \times \mu - \tau \times W] \quad (3)$$

式中: P - 冶炼终点的电耗总量/MWh; T - 废钢的加入总量/t; W - 转炉液态渣的兑加量/t; μ - 钢水 1 600 °C 时的物理热, 取 400 kWh/t; τ - 液态渣的物理热, 取 500 kWh/t。

(4) 电弧炉冶炼每炉节约石灰 2.5 t, 冶炼过程中吹氧操作简单, 成分控制容易, 脱磷脱碳效果十分明显, 泡沫渣的埋弧效果较好, 优于正常的全废钢冶炼。

(5) 转炉渣兑加以后, 熔化期炉渣氧化铁含量较高, 炉渣较稀, 操作过程中需要加强炉料的配碳量和泡沫渣操作过程中碳枪的喷碳量, 以提高泡沫渣的质量。

(6) 渣中的氧化镁含量在 4% 左右, 与计算结果基本吻合, 对于稳定泡沫渣发泡指数起到了较好的作用。

实际上, 电弧炉的废钢原料的 2/3 是在第 1 篮料加入的, 所以炉料中的酸性物质大多数在这一阶段产生的, 在随后的工艺改进过程中, 待第 1 篮料熔清以后, 流入 1/4 到 1/3 的熔化渣, 第 2 篮料中加入的石灰, 对于碱度的提高尤为明显, 实际装入量为 85 t 时, 石灰加入 500 ~ 1 000 kg, 泡沫渣的操作和成分的控制就更加容易了, 效果也更加明显。兑加转炉液态渣工艺和原有的工艺渣样分析如表 2。

4 工艺的经济效益评估

电弧炉采用热兑转炉液态渣的工艺以后, 冶炼

表 2 热兑转炉液态渣工艺和原工艺的电弧炉渣样的主要成分和碱度

Table 2 Main ingredient and basicity of slag sample of electric arc furnace with BOF molten slag charging process and original process

项目	成分/%				CaO/SiO ₂
	CaO	SiO ₂	TFe	MgO	
热兑炉渣工艺	27 ~ 35	13 ~ 16	19 ~ 22	0.9 ~ 4.0	1.9 ~ 2.3
原工艺	26 ~ 36	12 ~ 21	18 ~ 25	0.1 ~ 3.0	1.6 ~ 2.2

过程中对于冶炼周期的影响, 其效果相当于兑加等量铁水的效果, 每炉仅按照节约石灰 2.5 t 和电耗 3 MWh 计算, 直接经济效益达到 2 460 元以上, 间接为公司节约石灰量, 降低炉渣的排放量, 增加电弧炉台时产能的效益更加明显。兑加转炉液态渣工艺技术指标如表 3。

表 3 热兑转炉液态渣工艺和原工艺的电弧炉炼钢的经济技术指标对比

Table 3 Comparison economical and technical indexes of electric arc furnace steelmaking between BOF molten slag charging process and original process

工艺条件	热兑转炉液态渣 8 t	原工艺	对比结果
平均冶炼周期/min	47	52	缩短 5 min
冶炼电耗/(kWh · t ⁻¹)	355	400	节省 45 kWh/t
石灰加入量/t	1	3.6	节约 2.6 t
氧耗/(m ³ · t ⁻¹)	25	28	节约 3 m ³ /t

5 结语

电弧炉热兑转炉液态渣的工艺效果明显, 国内有诸多的钢厂同时具有电弧炉和转炉生产线, 如果能够推广此工艺, 尤其是同时具有铁水热装工艺和转炉渣热兑工艺, 转炉液态渣较高的热能和氧化铁, 可节约电能氧耗等资源, 减少钢渣的排放, 优化操作的效果更为明显。

俞海明(1968-), 男, 助理工程师, 炼钢工艺和渣处理工艺研究。

收稿日期: 2012-01-10

欢迎全国各冶金机械及相关行业
 在《特殊钢》杂志上刊登宣传广告