

210 t 转炉双渣法冶炼深冲钢 DC04 的脱磷工艺实践

张邹华 吕继平 王 源 黄文欢

(新余钢铁集团有限责任公司第二炼钢厂, 新余 338001)

摘 要 通过热力学计算得出转炉双渣法前期脱磷最佳温度为1 320 ~ 1 355 ℃, 前期渣碱度宜为 1.3 ~ 1.6, 并在 210 t 顶底复吹转炉进行 4 炉 DC04 钢工业试验。结果表明, 通过留渣量 60% ~ 80% 的留渣操作, 吹炼 3 ~ 4 min 进行倒渣操作, 加入生白云石 10 kg/t, 球团 15 kg/t, 前期渣样组成为 33% ~ 39% CaO, 20% ~ 25% SiO₂ (碱度 1.3 ~ 1.6), 后期二次造渣加石灰 16 kg/t, 球团 15 kg/t 和轻烧白云石 10 kg/t, 后期渣样组成 44% ~ 47% CaO, ≤15% SiO₂ (碱度 2.85 ~ 3.20), 使双渣法出钢平均 [P] 为 0.014%, 双渣法 [Mn] 收得率 ≤30%, 前期渣中 TFe 含量为 8.0% ~ 12.0%, 对后期渣中 TFe 含量影响较小。

关键词 210 t 转炉 DC04 深冲钢 双渣法 脱磷

Practice of Dephosphorization Process in 210 t BOF Steelmaking for Deep-Drawing Steel DC04 by Double Slag Method

Zhang Zouhua, Lü Jiping, Wang Yuan and Huang Wenhuan

(No2 Steelmaking Plant, Xinyu Iron and Steel Co Ltd, Xinyu 338001)

Abstract According to thermodynamic calculation it is obtained that by BOF double slag method in earlier stage the optimum temperature for dephosphorization is 1 320 ~ 1 355 ℃ and the suitable basicity of slag is 1.3 ~ 1.6, and the commercial production test of 4 heats of steel DC04 by 210 t top and bottom combined blowing converter has been carried out. Results show that with the controlling measures including 60% ~ 80% slag amount heels by remaining slag operation, blowing for 3 ~ 4 min then carrying out the skimming earlier slag operation, and adding green dolomite 10 kg/t and pellet 15 kg/t, ingredient of earlier slag sample being 33% ~ 39% CaO and 20% ~ 25% SiO₂ (basicity 1.3 ~ 1.6), in later stage secondary slagging adding lime 16 kg/t, pellet 15 kg/t and light-burned dolomite 10 kg/t, ingredient of later slag sample being 44% ~ 47% CaO and ≤15% SiO₂ (basicity 2.85 ~ 3.20), during tapping by double slag method the average [P] is 0.014%, the yield of [Mn] is ≤30%, and the TFe content in slag in earlier stage is 8.0% ~ 12%, that has not appreciable influence on the TFe content in slag in later stage.

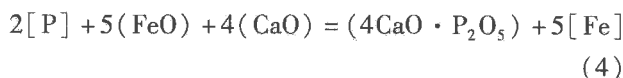
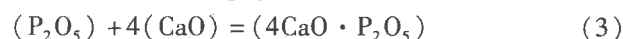
Material Index 210 t Converter, Deep Drawing Steel DC04, Double Slag Method, Dephosphorization

冷轧深冲钢种 DC04 广泛应用于汽车和家电业各类薄板零件的深冲加工^[1-2], 随着行业对深冲板的品质要求不断提高, 对钢中夹杂物以及成分的要求也越来越严格^[3-4]。因为磷提高钢的韧脆转变温度, 使钢发生冷脆, 会显著降低钢的低温冲击韧性^[5], 所以对 [P] 的要求较为苛刻, 目前新钢第二炼钢(二炼钢)对 DC04 中 [P] 的放行标准为 [P] ≤ 0.015%。由于部分铁水温度高, 硅含量波动大、磷含量高等原因, 造成转炉的脱磷效率降低, 同时还出现了转炉冶炼周期增加、泡沫化严重和喷溅等一系列的负面问题, 针对这些问题, 本文根据热力学计算和工艺试验, 对转炉双渣法冶炼 DC04 脱磷工艺进行了研究。

1 理论基础

1.1 脱磷热力学原理

脱磷反应是界面反应, 由下列反应环节组成:



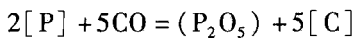
生成 4CaO · P₂O₅ 或 3CaO · P₂O₅, 液态渣中多是 3CaO · P₂O₅, 而固态渣中有 4CaO · P₂O₅ 存在^[6]。

$$\lg K_p = \lg \frac{a_{4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5}}{[\text{P}]^2 a_{\text{FeO}}^5 a_{\text{CaO}}^4} = \frac{40\ 067}{T} - 15.06 \quad (5)$$

式中: K_p - 反应平衡常数; $a_{4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5}$, a_{FeO} , a_{CaO} - 熔渣中 4CaO · P₂O₅, FeO, CaO 的活度; [P]- 钢液中的磷质量分数/%; T - 钢液温度/℃。由式(5)可知, 炉渣高碱度、高 FeO 含量, 大渣量和适当低的温度可以提高转炉的脱磷效率。

由于铁水中的硅和锰与氧的亲合力较强, 优于磷和碳的氧化反应, 随着反应的进行, 磷第 3 顺位进行反应, 随着脱磷反应的进行和熔池升温, 碳和磷也会

出现选择性氧化转变。即在某一温度时铁液中的磷优先氧化,反之碳优先氧化,磷的氧化受到抑制^[7]。转炉吹炼前期的碳磷选择性氧化反应方程为:



$$\Delta G = -521\,758.35 + 709.03 T + RT \ln \frac{a_{\text{P}_2\text{O}_5} \cdot a_{\text{C}}^5}{a_{\text{P}}^2 \cdot a_{\text{CO}}^5} \quad (\text{J/mol}) \quad (6)$$

根据热力学计算和前期一次倒炉钢液和炉渣成分计算,碳磷选择性氧化的转换温度为1 354.6 ℃。虽然低温有利于脱磷反应的热力学条件,但是温度不能过低,低温导致前期成渣速度慢,熔渣黏度大,脱磷动力学条件差,所以初步定温前期有利的脱磷温度为1 320 ~ 1 355 ℃,本文计算的理论脱磷的最佳温度与周泉林^[8]等人实验测得脱磷的最佳温度范围是1 300 ~ 1 340 ℃相比,较为接近。

1.2 前期炉渣碱度对黏度的影响

炉渣黏度过大,会导致脱磷速率降低,渣铁分离困难;黏度过小,会加剧炉衬冲刷和产生喷溅,影响黏度的两大因素是温度和炉渣成分,图1给出了转炉基本三元渣系 CaO-SiO₂-FeO 的等黏度图。通过图1可以看出,线①是等碱度 $R = 1.3$ 的线,线②是等碱度 $R = 1.6$ 的线,当炉渣碱度 R 大于 1.6 时,渣粘度急剧上升,造成渣金分离较为困难。结合去磷条件和护炉考虑选择前期渣碱度不低于 1.2,因此转炉双渣冶炼工艺控制前期渣碱度 $R = 1.3 \sim 1.6$ 为宜。

2 双渣法冶炼工艺与分析

2.1 工艺参数

本次工业试验在新钢二炼钢 210 t 顶底复吹转炉上进行,试验 4 炉,入炉铁水温度和成分表 1 所示。二炼钢转炉双渣法冶炼 DC04 钢时实行留渣操作,留渣量在 60% ~ 80%,吹炼时间 3 ~ 4 min 后开始倒前期渣,造渣料主要是以生白云石和球团为主,其加入量分别为:生白云石 10 kg/t、球团 15 kg/t,对于 [Si] 特别高的铁水可在吹炼前期加石灰石 5 ~ 10 kg/t。双渣后进行二次造渣,造渣料主要是以石灰、球团和轻烧白云石为主,其加入量分别为:石灰 16 kg/t、球团 15 kg/t 和轻烧白云石 10 kg/t。

2.2 双渣法脱磷效果及其他成分和温度的影响

本次试验双渣法操作过程中每炉共取钢样 4 次,分别为初始铁水成分、吹炼时间 3 ~ 4 min 的前期钢水样、吹炼后期钢水样和出钢样,分别标记为

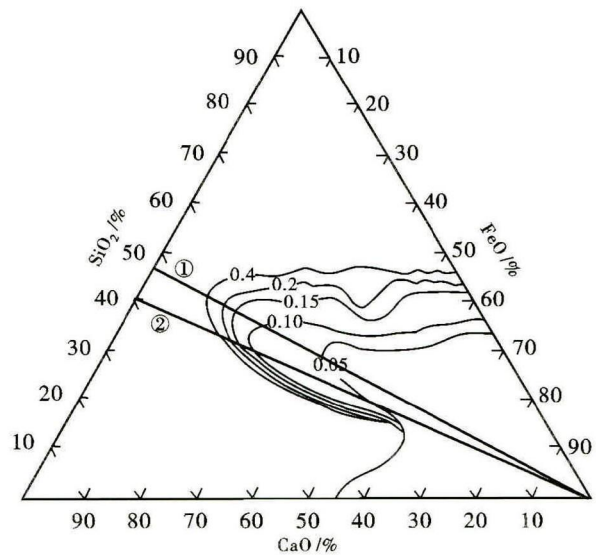


图1 CaO-SiO₂-FeO 系等黏度图

Fig. 1 Iso-viscosity diagram of CaO-SiO₂-FeO slag series

表1 铁水化学成分和温度

Table 1 Chemical composition and temperature of hot metal

炉次	温度/℃	化学成分/%			
		C	Si	Mn	P
1	1 456	4.32	0.48	0.40	0.137
2	1 435	4.28	0.79	0.47	0.149
3	1 398	4.36	0.64	0.40	0.137
4	1 373	4.30	0.56	0.44	0.141

Steel 1 (铁水样)、Steel 2 (吹炼前期钢样)、Steel 3 (吹炼后期钢样) 和 Steel 4 (出钢样), 其各阶段钢水成分和温度如表 2 所示。

由图 2(a) 可见,随着反应的进行钢液 [P] 逐渐下降,铁水平均 [P] 为 0.141%,前期吹炼造前期渣,吹炼 3 ~ 4 min 后倒前期渣,此时半钢中 [P] 迅速降低到 0.085%,前期渣能够去除铁水中 45% 的磷,表明前期渣有较强的脱磷能力,并且为后期渣继续脱磷打下了基础,相对而言降低初始 [P],增大了 P 的平衡常数,后期渣的碱度和 TFe 的提高,有利于脱磷反应进行,为冶炼低磷钢提供了热力学条件。

由图 2(b) 可见,钢液温度呈现出先降低后升高的趋势,铁水初始温度为 1 416 ℃,随着前期的吹炼,在倒前期渣时温度为 1 366 ℃,是已经吹炼了 3 ~ 4 min 后的温度,钢液已经升温一段时间,此时温度刚刚超过最佳脱磷的温度范围 (1 320 ~ 1 355 ℃),所以此时选择倒前期渣为最佳时机。后期渣开始吹炼,此时脱碳反应的增强,钢液的温度会逐渐升高,后期脱碳反应减缓,温度平稳升高。

由图 2(c) 可见,钢液 [C] 呈现出逐渐降低的趋势,铁水初始 [C] 为 4.315%,随着前期的吹炼,在倒

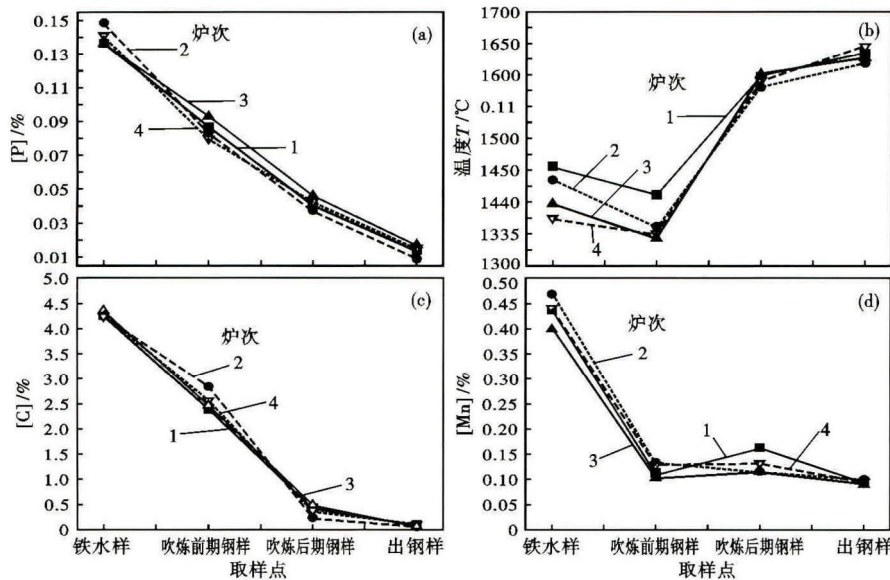


图 2 各阶段钢水 [P] (a), 温度 T (b), [C] (c) 和 [Mn] (d) 的变化
Fig. 2 Change of liquid [P] (a), temperature T (b), [C] (c) and [Mn] (d) in each stage

表 2 各阶段钢水平均成分与温度

Table 2 Average chemical composition and temperature of liquid in each stage

取样点	化学成分/%			温度/°C
	P	C	Mn	
铁水样	0.141	4.315	0.44	1 416
吹炼前期钢样	0.085	2.580	0.12	1 366
吹炼后期钢样	0.041	0.383	0.13	1 592
出钢样	0.014	0.083	0.09	1 630

表 3 各阶段炉渣成分和碱度

Table 3 Ingredient and basicity of slag in each stage

取样点	炉次	炉渣成分/%				碱度 (R)
		CaO	SiO ₂	MnO	TFe	
前期渣样	1	38.69	20.61	8.14	8.16	1.877
	2	33.50	23.07	8.92	11.2	1.452
	3	35.46	23.92	9.85	12.1	1.482
	4	36.16	25.58	8.38	8.63	1.414
后期渣样	1	43.85	15.36	4.34	16.22	2.855
	2	44.26	13.76	3.68	18.58	3.217
	3	47.43	15.86	4.10	12.50	2.991
	4	45.52	14.81	4.30	16.33	3.074

前期渣时 [C] 为 2.58%，前期脱碳速率较小，使前期升温慢，有效控制了前期炉内反应温度，提高脱磷效率。

由图 2(d) 可见，[Mn] 在双渣操作时收得率较低，出钢终点 [Mn] 在 0.09% 左右，即收得率在 30% 以下。

2.3 双渣法脱磷前后炉渣组分的特点

每炉取炉渣样 2 次分别为前期渣样和后期渣样 (表 3)。前期渣样 (CaO) 33% ~ 39%，(SiO₂) 20% ~

25%，碱度 R 在 1.3 ~ 1.6，其炉渣组分与动力学计算的条件比较接近，为前期脱磷创造了良好的动力学条件。后期渣样 (CaO) 44% ~ 47%，(SiO₂) 在 15% 以下，终渣碱度 (R) 在 2.85 ~ 3.20。

前期渣样 (MnO) > 8.0%，由于吹炼前期 [Mn] 先大量氧化，造成渣中 (MnO) 高，倒去前期渣后相对减少了转炉后期的回 [Mn] 量，是双渣法冶炼钢水 [Mn] 收得率低的主要原因。前终渣中 (TFe) 较小，在 8.0 ~ 12.0%，对后期渣中 TFe 含量影响不大，对金属的收得率影响较小。

3 结论

(1) 转炉吹炼高硅铁水运用双渣法操作，吹炼过程较为平稳，能够有效的提高脱磷效率，吹炼前期最佳的脱磷温度和碱度分别控制在 1 320 ~ 1 355 °C 和 1.3 ~ 1.6。

(2) 双渣法降低了转炉终点的残锰含量，钢水终点 [Mn] 收得率小于 30%。

(3) 双渣法冶炼对于吹炼前期渣的影响较大，对于终渣中的 TFe 含量影响较小。

参考文献

- [1] 彭其春, 赵金涛, 田俊, 等. 冷轧深冲钢中夹杂物分析 [J]. 炼钢, 2011, 27(2): 25-28, 40.
- [2] 彭其春, 赵金涛, 陈立鹏, 等. 连铸过程 DC04 钢中夹杂物的研究 [J]. 中国冶金, 2011, 21(6): 5-8.
- [3] 卜志胜, 吴军. 超低碳钢 DC04 的炼钢工艺技术研究 [J]. 江西冶金, 2013, 33(6): 24-27.
- [4] 胡洪林, 马孝娟. DC04 冷轧深冲钢生产试制 [J]. 新疆钢铁, 2012(2): 1-3.
- [5] 樊攀, 李晶, 刘伟健, 等. 120 t 顶底复吹转炉超低磷钢冶炼工艺研究 [J]. 钢铁研究, 2012, 40(3): 10-14.
- [6] 黄希祐. 钢铁冶金原理 (3 版) [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.
- [7] 武贺, 李晶, 周朝刚, 等. 120 t 顶底复吹转炉双渣脱磷一次倒渣的工艺实践 [J]. 特殊钢, 2013, 34(6): 30-31.
- [8] 周泉林, 刘海春, 王艳华. 复吹转炉脱磷技术工业实验研究 [C]. 石家庄: 2011 年河北省炼钢连铸生产技术与学术交流会, 2011: 78-82.

张邹华 (1975-), 男, 工程师, 2009 年北京科技大学 (本科) 毕业, 转炉炼钢工艺研究. E-mail: zzh5792108@163.com

收稿日期: 2015-03-16