

AOD 低成本冶炼 0Cr13C 不锈钢双渣工艺实践

宋云霞¹ 李广斌² 白李国² 邱永田² 张孟昀² 雷学东³
(邢台钢铁有限责任公司 1 技术中心; 2 不锈钢公司; 3 炼钢厂, 邢台 054027)

摘要 针对邢钢一步法(脱磷站 + 60 t AOD + 60 t LF)生产 0Cr13C 不锈钢过程中将 AOD 单渣操作改为双渣操作,以期降低脱碳期石灰加入量,并采用一次还原后补加石灰,来保证终渣质量,降低不锈钢整体冶炼成本。试验得出:AOD 单渣变双渣操作后对于碳含量要求严格的低碳 0Cr13C 钢,后续炉渣变化对增碳产生的影响较小,并且前期渣量明显减少,石灰、萤石及硅铁每炉分别少用 1.003 ~ 1.387 t、0.332 ~ 0.411 t 及 0.106 ~ 0.177 t,吨钢成本下降 37.48 ~ 44.48 元。

关键词 0Cr13C 不锈钢 双渣操作 AOD 冶炼成本

Practice of Double Slag Process for Low-Cost 0Cr13C Stainless Steel Smelted in AOD Furnace

Song Yunxia¹, Li Guangbin², Bai Ligu², Di Yongtian², Zhang Mengyun² and Lei Xuedong³
(1 Technology Center; 2 Stainless Steel Co;
3 Steelmaking Works, Xingtai Iron and Steel Co. Ltd, Xingtai 054027)

Abstract In order to reduce the cost of smelting for 0Cr13C stainless steel which produced by one-step process (dephosphorization station + 60 t AOD + 60 t LF), Xingtai Iron and Steel Co. Had replaced the single-slag to double-slag operation in the AOD furnace (argon oxygen decarburization furnace) to reduce the decarbonization amount of lime. And through adding a extra lime operation after first reduction to ensure the quality of final slag steel. The results indicated that after AOD furnace from single-slag to the double slag operation, not only the influence of subsequent slag basicity change on the increasing carbon can be ignored for the low carbon 0Cr13C which with stringent carbon content is required, but also the early slag quantity decreases significantly. The using amount of Lime, fluorite and ferrosilicon respectively decreases by 1.003 ton to 1.387 ton, 0.332 ton to 0.411 ton and 0.106 ton to 0.177 ton for one furnace. The cost per ton of steel is reduced by 37.48 to 44.48 yuan.

Material Index 0Cr13C Stainless Steel, Double-Slag Operation, AOD, Smelting Cost

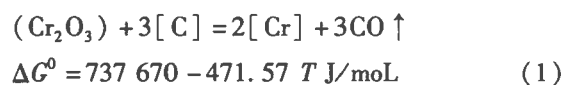
邢钢炼钢厂采用一步法(脱磷站 + 60 t AOD + 60 t LF)生产 0Cr13C 不锈钢 150 mm × 150 mm 方坯,回收再利用 0Cr13C 废钢加入量大,造成石灰加入量增大,石灰加入量增大既不利于 AOD 脱碳,也会造成还原物料如硅铁、萤石消耗量增大。通过对造渣机理的分析,将原来单渣操作改为双渣操作,减少 0Cr13C 钢种的石灰消耗,取得了良好的效果。

1 生产造渣机理分析

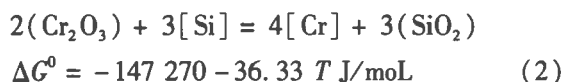
通常情况下,AOD 冶炼不锈钢分为脱碳和还原两个阶段,其中在脱碳期的主要任务是尽可能的实现脱碳保铬,保证炉渣碱度,还原期的主要任务是在侧吹强搅拌下依靠 Si、Al 等强脱氧剂对钢水进行脱氧,尽可能把脱碳期所氧化的 Cr、Fe、Mn 等还原到钢水中,同时兼顾脱气、去除夹杂等任务^[1]。由于 AOD 执行钢水、还原渣钢渣混出操作,使得 LF 精炼过程中的炉渣组分和特性基本上与 AOD 还原

渣一致^[2]。所以 AOD 的还原期脱氧是否充分、渣质量是否达标,不仅关系到钢水内在洁净度的问题,同时也影响到后续精炼炉的处理。

不锈钢冶炼过程中脱碳保铬反应方程式为:



还原期 Si 脱氧的反应方程式如下:



一般碳含量要求很低的 0Cr13C 不锈钢 AOD 冶炼时会将石灰按照还原加入硅铁后总碱度在 2.3 ~ 2.6 在脱碳前期一次性配够^[3]。而在一步法冶炼 400 系不锈钢时需要在 AOD 内加入大量的合金和渣料,引发冶炼过程热量的不足,其热量缺口在 6% ~ 10%^[4]。通常情况下,只能依靠氧化钢液

中的 Cr 元素或者额外加入硅铁进行提温,氧化期多加石灰就意味着物料温降加大吹氧提温增多,造成还原硅铁增多,还原硅铁增加后将会在还原后炉渣中产生 SiO_2 ,为保证还原碱度就要增加石灰加入量^[5],脱磷站处理后入 AOD 铁水在 49 t 左右,入 AOD 铁水硅含量在 0.02% 左右,高碳铬铁硅含量在 1.5% ~ 4%,如将整体造渣石灰全部加入,在脱碳期二元碱度将会达到 3.5 ~ 4.5,完全能保证脱碳保铬对炉渣碱度的要求,所以在保证化渣效果前提下,通过双渣操作将部分石灰后移,在还原期加入,以降低整体石灰和还原硅铁、萤石等的消耗。

在邢钢一步法(脱磷站 + 60 t AOD + 60 t LF)生产 0Cr13C 不锈钢过程中,在保证废钢加入量情况下,由于 AOD 单渣操作时石灰加入量大导致脱碳期吹氧增多,还原期硅铁、萤石加入量多引起钢液热量不足、炉衬侵蚀加剧和还原物料增多的情况^[6]。通过将邢钢 AOD(具体参数见表 1)单渣操作变为双渣操作,即脱碳期所加石灰量按照还原后碱度在 2.00 ~ 2.10 进行控制,还原倒渣完毕后再按照还原后碱度 2.30 ~ 2.55 补加石灰来保证终渣质量,来实现降低脱碳期石灰加入量和还原期还原物料消耗的目的以降低不锈钢冶炼成本,其中 0Cr13C 不锈钢的化学成分为(/%): $\text{C} \leq 0.08$, $\text{Si} \leq 1.00$, $\text{Mn} \leq 1.00$, $\text{P} \leq 0.040$, $\text{S} \leq 0.030$, 16.00 ~ 18.00Cr 原料价格/(元 · t⁻¹): 石灰 610, 萤石 3 100, 硅石 5 700。

2 试验内容与结果对比

使用 FeSi 进行还原操作时, AOD 还原渣系为 CaO-SiO₂-MgO 系,二元碱度 2.30 ~ 2.60,对石灰加

表 1 邢钢 AOD 设备参数
Table 1 Parameters of AOD unit of Xingtai Steel

项目	参数
公称容量/t	60
侧枪支数/支	3
侧枪氧气流量/(m ³ · min ⁻¹)	8 ~ 60
氧枪枪孔数/个	3
氧枪马赫数	2
侧枪氧气流量/(m ³ · min ⁻¹)	60 ~ 150
氧枪工作氧压/MPa	0.7 ~ 1.5

入过程进行调整实验,将原来按照还原完二元碱度 $R = 2.30 \sim 2.60$ 一次性在氧化期加入的石灰改为第一次还原后二元碱度按照 $R = 2.00 \sim 2.10$ 控制,第一次还原完后进行扒渣,扒渣率达到 80% 以上,扒渣后加入石灰进行第二次造渣还原,炉渣二元碱度按 2.30 ~ 2.55 控制;并且将以前一次性还原时萤石/石灰比例由 0.2:1,改为采用双渣后第一次还原,萤石/石灰比例按照 0.1:1 控制,流渣后二次还原时,萤石:石灰比例按 0.6:1 控制。

0Cr13C 钢单渣工艺生产统计,结果见表 2。

0Cr13C 钢双渣操作工艺统计,结果见表 3。

双渣工艺试验结果(表 3)与不同回收再利用废钢加入量浇次(表 2)对比,发现采用双渣操作后还原硅铁和萤石用量明显下降只是还原后二元碱度降低 0.02 ~ 0.05,不影响 LF 后续操作, AOD 终渣平均 Cr₂O₃ 含量增加 0.04% ~ 0.05%,其中典型炉渣成分见表 4,这说明双渣操作对铬的吸收率影响较小,对比单双渣出钢增碳和出钢氧含量变化,如表 5 所示,发现增碳量对成品碳含量增加 0.001% ~ 0.002%,出钢氧含量也增加 $2 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$,并且前期渣量明显减少(图 1),石灰每炉少用 1.003 ~ 1.387 t,硅铁每炉少用 0.106 ~

表 2 0Cr13C 不锈钢单渣统计结果,120 炉

Table 2 Statistics of Single-slag production data for 0Cr13C stainless steel, 120 heats

装入方式	生产炉数	接铁量/t	回收再利用废钢/t	废轧材/t	氧化期石灰加入量/t	出钢量/t	萤石消耗量/t	萤石均耗/t	还原后硅铁消耗量/t	还原后二元碱度(R)	终渣中 Cr ₂ O ₃ 含量/%
1	40	48	2	1.5	5.251 ~ 5.353	63.79 ~ 64.48	1.05 ~ 1.07	1.060	1.152 ~ 1.173	2.38 ~ 2.55	0.38 ~ 0.79
2	40	48.5	1	1.5	5.052 ~ 5.152	63.38 ~ 64.39	1.01 ~ 1.03	1.020	1.108 ~ 1.120	2.41 ~ 2.58	0.39 ~ 0.66
3	40	49	0	1.5	4.753 ~ 4.850	63.27 ~ 64.19	0.95 ~ 0.96	0.955	1.074 ~ 1.090	2.44 ~ 2.58	0.33 ~ 0.65

表 3 0Cr13C 不锈钢双渣试验结果,120 炉

Table 3 Double-slag experiment data for 0Cr13C stainless steel, 120 heats

装入方式	试验炉数	接铁量/t	回收再利用废钢/t	废轧材/t	氧化期石灰加入量/t	流渣后补加石灰量/t	出钢量/t	萤石消耗量/t	萤石均耗/t	还原后硅铁消耗量/t	还原后二元碱度(R)	终渣中 Cr ₂ O ₃ 含量/%
1	40	48	2	1.5	3.478 ~ 3.728	0.488 ~ 0.520	63.67 ~ 64.45	0.659 ~ 0.684	0.671	0.996 ~ 1.046	2.31 ~ 2.49	0.37 ~ 0.81
2	40	48.5	1	1.5	3.369 ~ 3.438	0.489 ~ 0.521	63.51 ~ 64.27	0.627 ~ 0.655	0.641	0.959 ~ 0.973	2.35 ~ 2.52	0.32 ~ 0.78
3	40	49	0	1.5	3.072 ~ 3.122	0.490 ~ 0.511	63.18 ~ 64.19	0.600 ~ 0.618	0.609	0.929 ~ 0.948	2.39 ~ 2.56	0.31 ~ 0.78

表4 AOD 0Cr13C 不锈钢冶炼单、双渣工艺典型炉渣成分对比

Table 4 Comparison of typical slag components in single- and double-slag processes of AOD unit for steelmaking of 0Cr13C stainless steel

装入方式	工艺方式	AOD 炉终渣成分%									元碱度(R)
		CaO	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	S	P ₂ O ₅	
1	单渣法	56.02	23.17	0.585	0.112	1.72	7.15	0.60	0.434	0.021	2.42
	双渣法	56.12	23.40	0.611	0.087	2.40	6.94	0.55	0.359	0.052	2.40
2	单渣法	55.44	22.33	0.531	0.106	2.26	7.07	0.55	0.344	0.017	2.48
	双渣法	55.37	22.60	0.537	0.097	2.87	7.14	0.70	0.434	0.148	2.45
3	单渣法	54.04	21.45	0.512	0.103	2.38	7.19	0.70	0.416	0.064	2.52
	双渣法	54.92	21.95	0.564	0.11	2.87	6.44	0.70	0.189	0.087	2.50

表5 0Cr13C 不锈钢单和双渣工艺出钢的增碳对比

Table 5 Increment of carbon in 0Cr13C stainless steel steelmaking by single slag and double slag process

装入方式	生产炉数	炉均接铁量/t	炉均回收再用废钢/t	炉均废轧材/t	生产方式	平均出钢量/t	平均出钢增碳量/%	平均出钢氧含量/10 ⁻⁶
1	40	48.0	2	1.5	单渣法	64.12	0.005	25
					双渣法	64.10	0.006	26
2	40	48.5	1	1.5	单渣法	63.92	0.004	23
					双渣法	63.91	0.006	25
3	40	49.0	0	1.5	单渣法	63.71	0.004	21
					双渣法	63.68	0.005	23

0.177 t, 萤石每炉少用 0.332 ~ 0.411 t, 每炉节约成本 2 245.23 ~ 2 724.37 元, 渣量减少后也减少了炉渣对炉衬的侵蚀。

3 结论

(1) 双渣操作工艺与单渣操作工艺相比, 终渣平均 Cr₂O₃ 含量高达 0.04% ~ 0.05%, 出钢增碳量高 0.001% ~ 0.002%, 出钢氧含量高 2×10^{-6} ~ 3×10^{-6} , 但对整

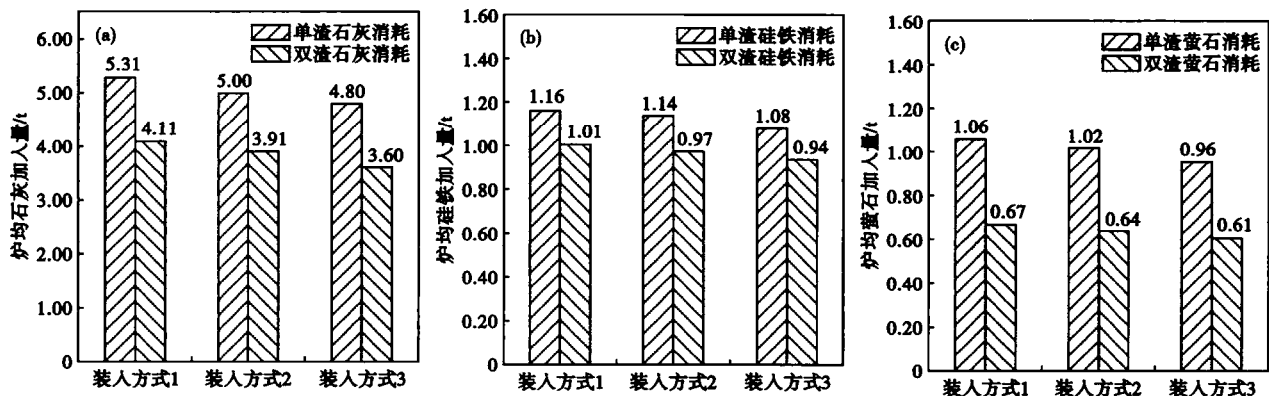


图1 0Cr13C 不锈钢 AOD 单渣和双渣工艺石灰(a)、萤石(b)和硅铁(c)消耗对比图

Fig. 1 Contrast of lime (a), fluorite (b) and ferrosilicon (c) consumption between AOD single and double slag process for steelmaking of 0Cr13C stainless steel

体生产和质量无明显影响。

(2) 采用双渣操作工艺, AOD 冶炼 0Cr13C 钢种时可以明显减少石灰、还原硅铁、萤石的加入量。与单渣操作工艺相比, 相同条件下石灰、萤石及还原硅铁加入量每炉分别少加 1.003 ~ 1.387 t、0.332 ~ 0.411 t 及 0.106 ~ 0.177 t, 吨钢成本下降 37.48 ~ 44.48 元。

参考文献

- [1] 陈兴润, 成东全. 0Cr13C 不锈钢脱氧及冶炼过程的夹杂物[J]. 中国冶金, 2016, 26(8): 56-9.
- [2] 胡汉涛. AOD 全铁水冶炼不锈钢的配料模拟[J]. 钢铁研究学

报, 2008, 20(10): 6-8.

- [3] 汪庆元, 李冬钢, 池和冰. AOD 炉加料及温度制度的研究与实践[J]. 上海金属, 2007, 29(4): 35-44.
- [4] 叶凡新. 60 t AOD 全铁水精炼 400 系不锈钢热补偿技术的工艺实践[J]. 特殊钢, 2016, 37(6): 44-46.
- [5] 冯文甫. AOD 炉冶炼超低碳 400 系不锈钢的工艺改进[C]. 中国金属学会. 第十七届炼钢学术论文集. 杭州, 2013.
- [6] 李广斌, 代书华. 缩短 AOD 炉处理 0Cr13 C 不锈钢的冶炼周期[J]. 中国冶金, 2016, 26(7): 26-28.

宋云霞 (1984-), 女, 硕士 (2010 年北京科技大学), 工程师, 2007 年北京科技大学 (本科) 毕业, 产品质量控制分析. E-mail: 858810812@qq.com

收稿日期: 2018-06-02