

300 t BOF-LF-RH 冶炼过程 X80 管线钢氧含量控制

杨利彬¹ 焦兴利² 贺庆¹ 刘浏¹

(1 钢铁研究总院冶金工艺研究所,北京 100081; 2 马钢第四钢轧总厂,马鞍山 243000)

摘要 X80 管线钢(基本成分/%:0.09C,0.42Si,1.85Mn,0.022P,0.005S,0.06Als)的冶金流程为 KR 铁水脱硫预处理-300 t 顶底复吹转炉-钢包吹氩-LF-RH-250 mm × 2 150 mm 板坯连铸。工艺炼钢和精炼主要优化工艺为:控制转炉出钢下渣量 ≤ 4 kg/t,采用(%):55 ~ 60CaO,7 ~ 12SiO₂,25 ~ 30Al₂O₃ 精炼渣系,控制 LF 精炼渣 CaO/Al₂O₃ = 1.7 ~ 1.9, CaO/SiO₂ = 4.5 ~ 6.0, (FeO + MnO) ≤ 1.0%, 吹氩站顶底吹氩预成渣, RH 真空度 ≤ 66.7 Pa, RH 后喂钙线 0.8 kg/t。结果表明,转炉终点碳氧积由 0.002 84 降为 0.002 44;精炼后 (FeO + MnO) 为 0.913%, 全氧含量为 0.001 3%。成品材夹杂物级别 ≤ 1.0。

关键词 300 t 顶底复吹 BOF-LF-RH X80 管线钢 预成渣 夹杂物 碳氧积 全氧含量

Control of Oxygen Content in X80 Pipe Line Steel during 300 t BOF-LF-RH Steelmaking Process

Yang Libin¹, Jiao Xingli², He Qing¹ and Liu Liu¹

(1 Metallurgical Process Research Institute, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081; 2 No4 Steelmaking and Rolling General Plant, Ma'anshan Steel, Ma'anshan 243000)

Abstract Flow sheet for X80 pipeline steel (basic composition /% : 0.09C, 0.42Si, 1.85Mn, 0.022P, 0.005S, 0.06Als) is KR metal desulphurization pretreatment-300 t top and bottom combined blowing converter-ladle argon blowing-LF-RH-250 mm × 2 150 mm slab casting process. The main steelmaking and refining optimizing processes are controlling converter tapping slag amount ≤ 4 kg/t, using (%) 55 ~ 60CaO, 7 ~ 12SiO₂, 25 ~ 30Al₂O₃ refining slag series to control LF refining slag CaO/Al₂O₃ = 1.7 ~ 1.9, CaO/SiO₂ = 4.5 ~ 6.0 and (FeO + MnO) ≤ 1.0%, pre-forming slag at ladle argon blowing station with top and bottom argon blowing, RH vacuum ≤ 66.7 Pa and feeding 0.8 kg/t calcium wire after RH treatment. Results show that carbon-oxygen product-[C][O] at converter endpoint decreases to 0.002 44 from original 0.002 84, after refining (FeO + MnO) is 0.913%, T[O] is 0.001 3% and rating of inclusions in products is 1.0.

Material Index 300 t Top and Bottom Combined blowing Converter, X80 Pipeline Steel, Pre-formation Slag, Inclusions, Carbon-Oxygen Product, Total Oxygen Content

随着管线钢强度级别的提高,在韧性止裂性、焊接性、抗腐蚀性等方面提出了更高的要求。氧化物夹杂是影响管线钢性能的重要因素之一^[1,2]。冶炼流程各工位氧含量的控制是控制夹杂物数量、尺寸及形貌的直接有效的手段^[3-5]。为了进一步提升 X80 管线钢产品性能,马钢对冶炼工序进行了工艺攻关和优化,有效控制了钢水氧含量及夹杂物水平。

1 生产条件

X80 管线钢基本化学成分见表 1。马钢第四钢轧总厂 X80 管线钢生产流程为:KR 铁水脱硫预处理→300 t 顶底复吹转炉→吹氩站→LF 精炼→RH 处理→连铸。KR 处理前、后进行扒渣处理,铁水经过 KR 处理,控制[S] ≤ 0.002%;转炉采用副枪自动化炼钢,结合顶底复吹技术终点磷和硫含量控制 ≤ 0.007%;转炉出钢过程进行预脱氧和合金化,出钢采用气动挡渣,下渣量 ≤ 4 kg/t;出钢后采用 3 阶段脱氧、造渣工艺,工艺流程见图 1。吹氩站除了调整

表 1 X80 管线钢基本成分要求/%

Table 1 Basic chemical composition of X80 pipeline steel /%

C	Si	Mn	P	S	Als
0.09	0.42	1.85	0.022	0.005	0.06

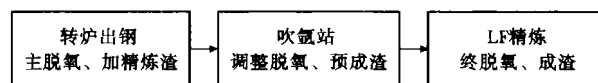


图 1 X80 管线钢脱氧、造渣流程图

Fig. 1 Flow sheet for deoxidizing and refining of X80 pipeline steel

钢水酸溶铝、锰和碳含量外,主要进行精炼渣预成渣;LF 精炼完成终脱氧及成渣;RH 后进行喂钙线处理,并进行吹氩弱搅拌。铸坯断面尺寸为 250 mm × 2 150 mm。

2 氧含量控制工艺

钢中全氧含量由溶解氧及夹杂氧组成(T[O] =

$[O]_0 + [O]_1$), 可以直观地表示钢水的夹杂物水平^[4]。内生夹杂物来源于钢水的脱氧产物, 所以降低转炉冶炼终点钢水的氧含量将有效减少夹杂物产生的数量, 精炼阶段脱氧及精炼渣造渣工艺则直接决定了夹杂物去除程度。

2.1 转炉低氧钢冶炼工艺

转炉工序采取以下工艺措施:

(1) 强化前期脱磷, 减轻冶炼后期脱磷负担;
(2) 采用强搅拌复合吹炼工艺促进渣-钢反应, 强化吹炼末期底吹搅拌;
(3) 采用动态吹炼控制模型提高冶炼终点一次命中率, 降低终点氧含量;
(4) 采用气动挡渣, 控制下渣量 ≤ 4 kg/t。

在冷态模拟实验及实际生产经验的基础上, 马钢 300 t 转炉应用了强搅拌顶底复合吹炼技术(见图 2)^[6]。

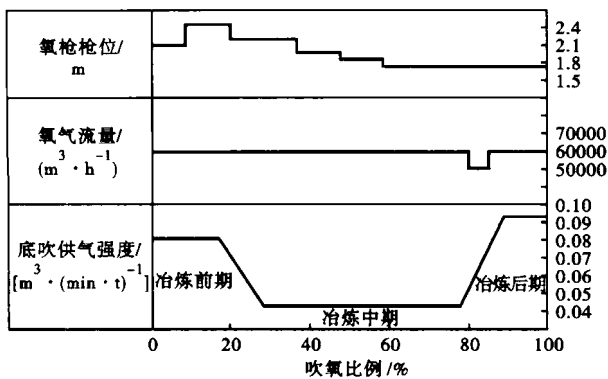


图 2 X80 管线钢冶炼过程顶底复合吹炼模式

Fig. 2 Top and bottom combined blowing pattern in X80 pipeline steel converter steelmaking

2.2 精炼低氧控制工艺

铝脱氧后形成 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ 精炼渣, 为了使精炼渣具有较好的吸收 Al_2O_3 等脱氧产物的能力, 精炼终渣成分选定在 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 相图的 $(12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3)$ 区域^[7]; 成分 (%) 为 55 ~ 60CaO、7 ~ 12SiO₂、25 ~ 30Al₂O₃。

转炉出钢后期, 根据 LF 精炼目标渣系及钢水氧含量加入精炼渣料及铝粒(图 3)。在吹氩站进行脱氧调整, 并完成精炼渣预成渣。在 LF 精炼工序完成终脱氧, 并使精炼渣进入目标渣系。

为了使得加入渣料迅速熔化并进入目标渣系, 出钢后在吹氩站进行 6 min 大气量顶底复吹氩搅拌, 促进钢渣反应平衡, 去除大颗粒夹杂。通过控制 LF 渣中 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 1.7 \sim 1.9$, $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 4.5 \sim 6.0$, $(\text{FeO} + \text{MnO}) \leq 1.0\%$ 和合理的吹氩搅拌强度,

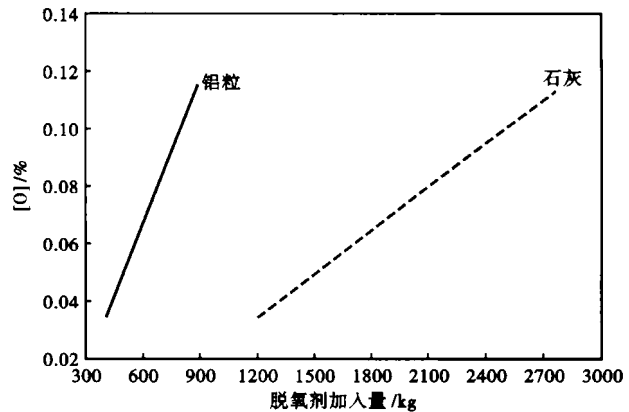


图 3 转炉出钢过程石灰、铝粒加入量与钢水活度氧关系图
Fig. 3 Relation between adding amount of lime and aluminium shot and activity of oxygen in liquid during BOF tapping

加快钢水中夹杂物的碰撞、长大和上浮去除。RH 真空度小于 66.7 Pa, 静循环时间 12 min; RH 后进行喂钙线处理对夹杂物进行变性, 喂线量为 0.8 kg/t, 并保证 6 min 钢包底吹氩弱搅拌。

3 结果分析

3.1 氧含量控制效果

采用强搅拌顶底复吹技术后, 转炉炉渣及钢的氧化性得到了有效的控制(图 4a, b)。由图 4 可知, 工艺优化后 TFe 含量平均由 24.37% 降到 22.06%, 钢水碳氧积平均由 0.002 84 降到 0.002 44。

经过“吹氩站-LF-RH”精炼脱氧、造渣及吹氩工艺控制, 钢包炉渣及钢水氧化性得到了有效控制。精炼过程钢包顶渣氧化性及钢水全氧含量变化分别见图 5(a, b)。从图 5(a) 可以看出, 经过吹氩站, 炉渣 ($\text{FeO} + \text{MnO}$) 含量平均由 26.38% 降到 3.48%, LF 精炼后降至 1.23%, RH 处理后降至 0.913%。从图 5(b) 可以看出, 吹氩前钢中 $T[O]$ 平均值 0.007 2%, 吹氩后降到 0.005 5%, 经过精炼处理后降到 0.002 5%, RH 处理过程中钢中 $T[O]$ 继续降低, RH 终点时钢中 $T[O]$ 平均为 0.001 3%, 钢水达到了较高的洁净度。

3.2 夹杂物控制效果

通过对 X80 管线钢生产的冶炼各工序工艺进行优化, 有效控制了钢中夹杂物数量、尺寸, 见图 5(c)。夹杂物数量变化趋势与全氧的变化趋势相同。经过吹氩站的顶底吹氩及 LF 精炼, 钢中大于 5 μm 的夹杂物 Al_2O_3 夹杂已经基本去除, 小于 5 μm 的夹杂物数量减少较快, 减少到 327 个/100 视场; 经过 RH 氩气搅拌, 小于 5 μm 的夹杂物数量进一步减少到 286 个/100 视场。

从表 2 结果可看出,钢中 A、C 类夹杂为 0 级;B 类氧化物夹杂去除效果好,粗系 B 类为 0.5 级,细系 B 类夹杂为 1.0 级;D 类粗系为 0.5 级,细系为 1.0 级。总体看,马钢生产的 X80 管线钢内部 A、C 类非金属夹杂物为 0 级,B、D 类粗系夹杂的级别控制在 0.5 级以内,细系夹杂的级别控制在 1.0 级以内,为进一步提升 X80 管线钢成材性能打下了基础。

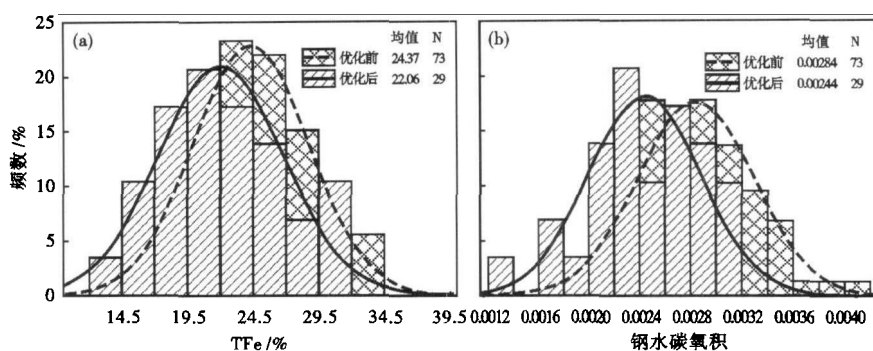


图 4 转炉终渣 TFe 含量(a)和终点钢水碳-氧积(b)的分布
Fig. 4 Distribution of TFe content in slag (a) and carbon-oxygen product in liquid (b) at converter endpoint

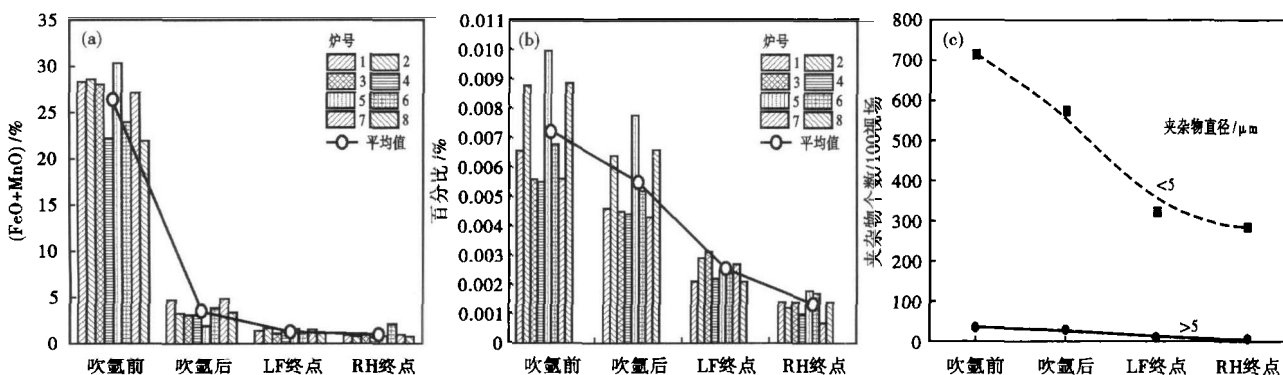


图 5 X80 管线钢精炼过程(FeO + MnO) (a)、T[O] (b)和钢中夹杂物数量(c)的变化
Fig. 5 Change of (FeO + MnO) (a), T[O] (b) and inclusions amount in steel (c) during refining process for X80 pipeline steel

表 2 X80 管线钢夹杂物评级

Table 2 Rating of inclusions in products of X80 pipeline steel

炉号	A		B		C		D	
	粗	细	粗	细	粗	细	粗	细
1	0	0	0	0.5	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	1.0
3	0	0	0	1.0	0	0	0.5	1.0
4	0	0	0	0.5	0	0	0.5	0.5
5	0	0	0	0.5	0	0	0.5	1.0
6	0	0	0	0.5	0	0	0.5	0.5
7	0	0	0.5	0	0	0	0.5	1.0
8	0	0	0	0.5	0	0	0.5	1.0
综合	0	0	0.5	1.0	0	0	0.5	1.0

4 结论

(1)降低冶炼流程的氧含量对钢中夹杂物的控制至关重要,主要工艺措施为:转炉采用强搅拌顶底复合吹炼技术,控制下渣量 ≤ 4 kg/t;优化“吹氩站-LF-RH”精炼过程脱氧、造渣工艺及吹氩制度。

(2)采用控氧工艺后,转炉终点炉渣 TFe 含量由 24.37% 降到 22.06%,钢水碳氧积由 0.00284 降低到 0.00244,精炼后炉渣(FeO + MnO)含量降到 0.913%,钢水 T[O] 降到 0.0013%,钢水达到了较

高的洁净度。

(3)采用控氧工艺后,有效控制了钢中夹杂物尺寸和数量。精炼后,大于 5 μm 的夹杂物基本消除,小于 5 μm 的夹杂物减少到 286 个/100 视场。X80 管线钢成品材 A、C 类夹杂物为 0 级,B、D 类夹杂控制在 1.0 级以内。

参考文献

- 1 李桂荣,王宏明. 管线钢冶炼工艺的特点. 特殊钢,2002,23(5):24
- 2 黄开文. 国外高钢级管线钢的研究与使用情况. 焊管,2003,26(3):1
- 3 王新华. 钢铁冶金:炼钢学. 北京:冶金工业出版社,2007
- 4 伊東裕恭,日野光兀,萬谷志郎. 溶鋼中でのスピネル(MgO·Al₂O₃)非金属介在物生成に関する熱力学. 鉄と鋼,1998,84(2):95
- 5 蔡开科. 转炉冶炼低碳钢终点氧含量控制. 钢铁,2009,44(5):27
- 6 Yang Libin, Liu Liu, Wu Liping, et al. Study on Long Campaign Combined Blowing Steelmaking Technique of 300t Converter. Proceedings of the 5th Korea-China Joint Symposium on Advanced Steel Technology for Future Industry, 2009:16
- 7 焦兴利,王 泉. 高强度管线钢精炼渣系的开发与实践. 特殊钢,2010,31(3):27

杨利彬(1977-),男,博士生,高级工程师,2000年北京科技大学毕业,炼钢、精炼工艺研究。

收稿日期:2011-06-09