

转炉-LF和铁水预处理-转炉-钢包吹氩对耐候钢冶金质量的影响

郭宏海¹ 宋波¹ 刘西峰² 赵沛³

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 唐山建龙钢铁有限公司,唐山 064200;

3 钢铁研究总院,北京 100081)

摘要 进行了60 t转炉(钢水温度1 653 ℃)-LF精炼(渣碱度2.5~3.0、喂Al线、吹氩)和铁水预处理([S]≤0.010%)-60 t转炉(钢水温度1 670 ℃,出钢过程加80~100 kg精炼渣)-钢包喂Al线、吹氩≥8 min两种工艺冶炼耐候钢SPA-H(%:≤0.12C,0.30~1.25Cr,0.25~0.55Cu)的试验。62炉生产结果表明,有LF精炼炉次吹氩前[O]37.7×10⁻⁶,喂丝量25 kg,平均[S]0.014%,无LF精炼吹氩前[O]53.3×10⁻⁶,喂丝量33.9 kg,平均[S]0.017%,两种工艺生产的耐候钢力学性能和夹杂物级别均达到要求,但无LF工艺有利于提高生产率,降低物料消耗。

关键词 耐候钢 转炉 LF精炼 钢包吹氩

Effect of Converter-LF Refining and Hot Metal Pretreatment-Converter-Ladle Argon Stirring Process on Metallurgical Quality of Weathering-Resisting Steel

Guo Honghai¹, Song Bo¹, Liu Xifeng² and Zhao Pei³

(1 Metallurgical and Ecological Engineering School, University of Science and Technology, Beijing 100083;

2 Tangshan Jianlong Steel Corp Ltd, Tangshan 064200; 3 Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract Test to melt weathering-resisting steel SPA-H (%: ≤0.12C, 0.30~1.25Cr, 0.25~0.55Cu) by both processes of 60 t converter (liquid temperature 1 653 ℃) - LF refining (slag basicity 2.5~3.0, feeding Al wire, Ar stirring) and hot metal pretreatment ([S]≤0.010%) -60 t converter (liquid temperature 1 670 ℃, adding 80~100 kg refining slag during tapping) - ladle feeding Al wire and Ar stirring ≥8 min has been carried out. Results by 62 heats practice show that for heats with LF refining, [O] before argon stirring is 37.7 × 10⁻⁶, feeding wire 25 kg, average [S] is 0.014%; and for heats without LF refining, [O] before argon stirring is 53.3 × 10⁻⁶, feeding wire 33.9 kg, average [S] is 0.017%; the mechanical properties and inclusion rating of weathering-resisting steel produced by both processes all meet the requirement, but the process without LF refining is available to increase productivity and reduce consumption of materials.

Material Index Weathering-Resisting Steel, Converter, LF Refining, Ladle Ar Stirring

LF精炼工序的主要功能是进一步去除钢水夹杂、脱S、调节钢水成分与温度等作用^[1,2]。在耐候钢^[3,4]冶炼过程中,为降低冶炼成本,并兼顾产品质量的要求,特进行中宽带热轧耐候钢SPA-H(规格厚度<5.8 mm)的无LF工艺试验。

1 试验要求和工艺流程

SPA-H(表1)属于热轧低合金钢Q345级铜磷铬镍系高强耐候钢。由于该钢种的碳含量正好处在包晶反应区,在结晶器中,δ-Fe 100%转化为γ-Fe,

相变体积收缩大,即坯壳收缩量大,这样结晶器壁与坯壳空隙也大,因而极易引起热流不均。另外较高含量的P、Cu在结晶过程中偏析倾向很大,使钢的晶界脆化,因而耐候钢内外裂纹较敏感,所以对钢材纯净度及冷弯性能要求较高。耐候钢中含有Cu、Cr、Ni等元素,坯壳易与结晶器铜板发生粘结,从而引发粘结漏钢事故,所以,应采取各种手段保证浇铸顺利,并使铸坯、成品冷弯和制管时不开裂,性能合格。

热轧耐候钢SPA-H中宽带生产工艺流程:铁水

表1 耐候性钢SPA-H的化学成分和力学性能
Table 1 Chemical composition and mechanical properties of weathering-steel SPA-H

项目	化学成分/%								力学性能		
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	屈服强度 R _{eL} /MPa	抗拉强度 R _m /MPa	伸长率 A _{5.65} /%
标准	≤0.12	0.25~0.75	0.20~0.50	0.07~0.15	≤0.030	0.25~0.55	0.30~1.25	≤0.65	≥345	≥480	≥22
有LF	0.081	0.380	0.388	0.100 5	0.014	0.451	0.293	0.191			
无LF	0.069	0.365	0.372	0.103 3	0.017	0.438	0.293	0.195			

预处理→60 t 顶底复吹转炉冶炼→钢包脱氧合金化→底吹 Ar(LF 精炼)→板坯连铸→加热→中宽带热连轧机组轧制→层流冷却→卷取。

2 生产工艺

通过铁水预处理对铁水进行深脱 S 来保证低 S 铁水。耐候钢转炉冶炼的入炉铁水条件: $Si \leq 0.60\%$, $S \leq 0.025\%$, 温度 $\geq 1250\text{ }^\circ\text{C}$ 。要求石灰: $CaO \geq 80\%$, $SiO_2 \leq 2.5\%$, $S \leq 0.040\%$, 活性度 ≥ 280 , 粒度 $10 \sim 50\text{ mm}$, 生烧率 $< 5\%$ 。

新开炉的前 15 炉、大补炉后第一炉不冶炼此钢种, 以保证钢质的纯净和钢材质量。钢包采用连用红包, 要求包底透气性良好。

2.1 钢包吹 Ar 工艺

为降低和减少钢水中的 O、N 含量, 在钢包底部安装透气砖, 由原来低压氮气改为低压氩气, 以提高钢水的洁净度。要求全程吹氩, 底吹 Ar 压力 $0.2 \sim 0.4\text{ MPa}$ (出钢时可稍偏大)。钢包到达吹 Ar 站后, 先对钢水定氧, 再根据情况喂铝线, $\Phi 10\text{ mm}$ 的铝线按 1.5 m 降氧 1×10^{-6} 考虑, 钢中氧控制在 $(20 \pm 5) \times 10^{-6}$; 钢水出站前必须测温取样。

2.2 LF 精炼工艺

为控制成本, 当耐候钢上 LF 精炼时, 不进行铁水预处理。

2.2.1 吹氩制度、成分调整

吹氩时要求渣面涌动, 不露钢液; 氩气压力 $0.2 \sim 0.8\text{ MPa}$ 。成分及温度调整符合要求后, 软吹氩时间 $\geq 4\text{ min}$ 。以炉前氩后所取样的成分作为 LF 调成分的依据。

2.2.2 造渣制度

(1) 造渣制度以早化渣, 造白渣为原则; (2) 造

渣过程中可补加石灰、萤石, 调节钢渣流动性, 保证埋弧加热。碱度应控制为 $2.5 \sim 3.0$; (3) 根据渣况, 分批少量从加料口向渣面加入 CaSi 粉、铝粒进行造白渣操作, 应保证精炼完毕渣中 $FeO \leq 1\%$ 。

2.3 无 LF 试验工艺

为降低耐候钢冶炼成本, 并兼顾产品质量的要求, 特提出对耐候钢进行不上精炼的试验, 考虑试验中宽带热轧耐候钢 SPA-H 的(规格厚度 $a < 5.80\text{ mm}$)无 LF 工艺路线。耐候钢无 LF 工艺试验前 24 h 由生产处向高炉提出铁水降 S 的要求, 炼钢厂调度室负责提前 8 h 开始进行高炉铁水按等级分装; 对高炉铁水的要求为 $Si \leq 0.60\%$, $S \leq 0.025\%$; 铁水必须经过铁水预脱硫, 要求出脱硫站铁水 $S \leq 0.010\%$; 出钢过程中加精炼渣 4~5 袋(20 kg/袋); 钢水在吹氩站吹氩时间 $\geq 8\text{ min}$; 在生产轧制厚度 $< 5.80\text{ mm}$ 的耐候钢时连铸采用平底干式料包, 在生产轧制厚度 $> 5.80\text{ mm}$ 的耐候钢(对 [Al]s 有要求)时, 连铸采用快换干式料包; 提前进行中间包准备。

3 试验结果讨论

3.1 化学成分

共进行两批 62 炉试验, 从表 1 可见, 无 LF 工艺虽然进行了铁水预脱硫, 但相比没有进行铁水预脱硫的有 LF 工艺, 其 [S] 要略高于有 LF 工艺, 但可以满足试验要求, 无 LF 工艺可将 C 含量控制在 0.07% 以下, 而 Si、Mn、P、Cr、Cu、Ni 含量两者差异不大。

3.2 生产工艺与质量

3.2.1 生产工艺指标

从表 2 可以看出, 冶炼时间有 LF 比无 LF 略低, 但累计平均基本持平; 有 LF 与无 LF 工艺相比, 一倒温度低 $17\text{ }^\circ\text{C}$; 氩前氧含量低 15.6×10^{-6} ; 喂丝

表 2 有 LF 和无 LF 精炼时耐候钢 SPA-H 的平均冶炼技术参数

Table 2 Average steelmaking technology parameters for weathering-resisting steel SPA-H with LF and without LF refining

项目	铁水/ t	废钢量/ t	冶炼时 间/min	溅渣时 间/s	一倒温 度/ $^\circ\text{C}$	氩前氧含 量/ 10^{-6}	喂丝量/ kg	氩后温 度/ $^\circ\text{C}$	钢包温 度/ $^\circ\text{C}$	中间包 温度/ $^\circ\text{C}$	浇铸时 间/min	平均拉速/ ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	拉速范围/ ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)
有 LF	51.35	7.25	21.2	143	1 653	37.7	25	1 612	1 605	1 552	32.59	0.94	0.3~1.20
无 LF	52.3	6.95	21.2	151.2	1 670	53.3	33.9	1 614	1 605	1 549	29.04	1.01	0.4~1.30
对比	-0.95	0.3	0	-8.2	-17	-15.6	-8.9	-2	0	3	3.55	-0.07	

量低 8.9 kg/炉 ; 氩后温度低 $2\text{ }^\circ\text{C}$; 在钢包温度 $1605\text{ }^\circ\text{C}$ 持平状态下, 中间包温度降低 $3\text{ }^\circ\text{C}$; 浇铸时间长 3.55 min/炉 ; 平均拉速低 0.07 m/min 。虽然一倒温度有 LF 比无 LF 低 $17\text{ }^\circ\text{C}$, 但是因没有 LF 工艺, 生产节奏相对加快, 利于提高产能。

3.2.2 力学性能分析

从表 3 可以看出, 在相同的条件下, 两次试验对比的物理性能平均指标有 LF 工艺要高于无 LF 工艺, 但是物理性能的稳定性方面无 LF 工艺要略优于有 LF 工艺。

从理论角度来说, 一般低合金结构钢屈强比为 $0.65 \sim 0.75$, 热轧耐候钢 SPA-H 设计屈强比 ≥ 0.72 ,

表 3 有 LF 和无 LF 精炼耐候钢 SPA-H 板材的力学性能对比

Table 3 Comparison of plate mechanical properties of weathering-resisting steel SPA-H with LF and without LF refining

试验批次	项目	有 LF 精炼				无 LF 精炼			
		屈服强度 R_{e1}/MPa	抗拉强度 R_m/MPa	伸长率 $A/\%$	冷弯 $d=180^\circ$	屈服强度 R_{e1}/MPa	抗拉强度 R_m/MPa	伸长率 $A/\%$	冷弯 $d=180^\circ$
1	最大值	435	535	38	完好	435	535	39	完好
	最小值	400	495	32	完好	385	490	32	完好
	平均	416.25	520.42	35.33	完好	393.85	490.38	33.88	完好
2	最大值	480	570	34.5	完好	480	545	35.5	完好
	最小值	385	490	26	完好	360	485	25	完好
	平均	436.88	524.38	31.19	完好	416.25	511.25	31.63	完好

控制目标在 0.74~0.755。第 1 批 25 炉试验中,有 LF 工艺的屈强比为 0.800,无 LF 工艺的屈强比为 0.803,基本对等;第 2 批 37 炉试验,有 LF 工艺的屈强比为 0.833,无 LF 工艺的屈强比为 0.814,后者略低。两批试验中,虽然屈强比都没有达到理论值,因而基于成本考虑,无 LF 工艺略优于有 LF 工艺。

3.2.3 夹杂物分析

由表 4 可见,在相同的条件下,硫化物类:夹杂 1.0 级有 LF 工艺低于无 LF 工艺,夹杂 1.5~2.5 级有 LF 工艺高于无 LF 工艺,其他夹杂级别基本相同;硅酸盐类:夹杂 1.0 级相同为 25%,夹杂 1.5 级有 LF 工艺高于无 LF 工艺,夹杂 2.0 级有 LF 工艺低于无 LF 工艺,夹杂 2.5 级相同为 8.33%,夹杂 3.0 级有 LF 工艺高于无 LF 工艺;球状氧化物类:夹杂 0.5 级相同都为 100%;实际晶粒度相同,都大于 10 级。可以得出,硫化物类、硅酸盐类大型夹杂所占百分比之和,有 LF 工艺高于无 LF 工艺,两种工艺生产的耐候钢的晶粒度均大于 10 级。

表 4 有 LF 和无 LF 精炼耐候钢 SPA-H 板材夹杂级别对比
Table 4 Comparison of rating of inclusions in plate of weathering-resisting steel SPA-H with LF and without LF refining

夹杂物级别	有 LF 精炼			无 LF 精炼		
	硫化物类/%	硅酸盐类/%	球状氧化物类/%	硫化物类/%	硅酸盐类/%	球状氧化物类/%
0.5	0	0	100	0	0	100
1.0	66.67	25.00	0	91.67	25.00	0
1.5	25.00	33.33	0	8.33	29.17	0
2.0	0	16.60	0	0	25.00	0
2.5	8.33	8.33	0	0	8.33	0
3.0	0	16.67	0	0	8.33	0

有 LF 精炼工艺时,为了协调生产,节奏较快,时间不能保证,没有发挥出其功能,不利于杂质上浮,所以必须保证和稳定精炼时间。钢包到工位后应避免用高压氮气开封,为降低气体夹杂,应用氩气开封。钢包到工位后,钢水氧化气氛较强,应尽快造成还原性白渣,加脱氧剂降低钢中氧含量,必须保证

精炼渣中 $[\text{FeO}] \leq 0.5\%$,通过控制 $[\text{FeO}]$,保持钢渣碱度在 4.0 左右后,形成有利于吸收 Al_2O_3 夹杂的还原白渣,同时保证稳定的白渣 20 min 以上,可有效降低钢中氧含量。

3.2.4 物料消耗

有 LF 工艺的合金料消耗比无 LF 工艺高 10.25%,尤其是硅铁、硅锰铁、铬铁、镍铜铁等几种合金方面,分别多耗量为(%)8.63、6.33、9.75、3.07,而硅钙粉无 LF 工艺比有 LF 工艺节约了 91.62%。从工序成本来看,含铁料成本无 LF 工艺比有 LF 工艺节约 4.75%,合金料节约成本 5.27%。热轧耐候钢 SPA-H 中宽带在保证产品性能质量的前提下,采用无 LF 工艺比有 LF 工艺成本低。

4 结论

为降低耐候钢冶炼成本,并兼顾产品质量的要求,进行了中宽带热轧耐候钢 SPA-H 的无 LF 工艺试验。试验结果表明,各元素整体成分没有太大的差异,有 LF 工艺的物理性能平均指标要高于无 LF 工艺,但其稳定性方面无 LF 工艺要略优于有 LF 工艺,大型夹杂物所占比例有 LF 工艺要高于无 LF 工艺,无 LF 工艺生产节奏加快,拉速提高,有利于产能提升,降低物料消耗。所以,热轧耐候钢 SPA-H 中宽带生产可不进行 LF 精炼工序。

国家 973 计划资助项目(2004CB619107)

参考文献

- 杜勇,彭家清,姬健营. 100 t 转炉 LF 精炼工艺的生产实践. 中国冶金, 2006, 16(8): 17
- 林功文. 钢包炉(LF)精炼用渣的功能和配制. 特殊钢, 2001, 22(6): 28
- 王传雅,戚正风. 耐候钢的化学成分和性能. 特殊钢, 1997, 18(1): 13
- 贾晖. 铁路车辆用耐候钢的现状和发展. 武钢技术, 2003, 41(3): 59

郭宏海(1981-),男,博士生,钢铁材料和工艺研究。

收稿日期:2009-07-03