

通钢 65 t Consteel EAF-LF-CC 工艺生产 40Cr 钢水洁净度的分析

王涛¹ 包燕平¹ 岳峰¹ 朴峰云² 毕洪志² 王晓春²

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 通化钢铁集团技术中心,通化 134000)

摘要 通钢通过 65 t Consteel 电弧炉-65 t LF-150 mm × 150 mm 方坯连铸流程生产 40Cr 合金钢。检验结果表明,通过 LF 精炼,40Cr 钢水中的氧含量由精炼前 227×10^{-6} 降至 35×10^{-6} ;而连铸时中间包钢水中的氧含量增加至 51×10^{-6} ,铸坯的氧含量为 54×10^{-6} 。因此,进一步预防钢水从钢包至中间包及中间包内钢水的二次氧化和去除钢中大型夹杂物,是提高钢水洁净度和降低 [O] 的关键步骤。

关键词 Consteel 电弧炉 钢水洁净度 二次氧化

Analysis on Cleanliness of Steel 40Cr Produced by 65 t Consteel EAF-LF-CC Process at Tonghua Steel

Wang Tao¹, Bao Yanping¹, Yue Feng¹, Piao Fengyun², Bi Hongzhi² and Wang Xiaochun²

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Technical Center, Tonghua Iron and Steel Co, Tonghua 134000)

Abstract Alloy steel 40Cr is produced by 65 t Consteel EAF - 65 t LF - 150 mm × 150 mm billet costing flow sheet at Tonghua Steel. Examination and analysis results showed that oxygen content in liquid steel with LF refining decreased to 35×10^{-6} from 227×10^{-6} , then during concasting the oxygen in molten steel in tundish increased to 51×10^{-6} and oxygen content in billet was 54×10^{-6} . Therefore key measure to increase cleanliness of steel and decrease [O] is further to prevent secondary oxidizing of liquid steel from ladle to tundish and in tundish and remove large inclusion in molten steel.

Material Index Consteel EAF, Cleanliness of Liquid Steel, Secondary Oxidizing

1 40Cr 钢生产工艺和试验方法

通钢电弧炉炼钢厂生产 40Cr(0.40% C、0.95% Cr)钢工艺流程为:Consteel 电弧炉(废钢预热)→LF 钢包精炼(全过程底吹 Ar,钢水成分和温度微调)→R9 m 方坯连铸机。Consteel 电弧炉、钢包炉(LF)主要技术参数见表 1、表 2。连铸中间包容量 40 t,铸坯断面 150 mm × 150 mm,弧形半径 9 m,气雾二冷, M-EMS 电磁搅拌。

选取一个连浇炉次分别在 LF 精炼前后、中间包、铸坯不同工序按计划系统取样,采用金相法、大样电解法、扫描电镜(SEM)和电子探针(EDS)等手段,分别对钢中显微夹杂(直线法统计数量)和大型

表 2 LF 主要技术参数

Table 2 Main parameters of ladle furnace

项目	参数
额定处理量/t	65
钢包直径/mm	3 250
自由空间/mm	500
变压器容量/MVA	15
升温速度/($^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$)	3~5

夹杂进行观察和定量成分分析。

2 结果与讨论

从炼钢-精炼-连铸各阶段钢水洁净度变化可以看出(表 3),精炼前钢中 T[O] 为 227×10^{-6} ,精炼后降至 35×10^{-6} ,降低 84.6%,钢中的显微夹杂物降低 74.9%。钢液中 [N] 由 53.9×10^{-6} 升至 59.6×10^{-6} ,升高 10.6%。从 LF 到中间包, T[O] 由 35×10^{-6} 升至 51×10^{-6} ,升高 45%,显微夹杂从 3.47 个/mm² 增至 4.44 个/mm²,增加 27.95%,钢中的 [N] 升高 28.19%。因此在钢包从精炼炉到中间包过程中夹杂物有所增加,应注重精炼结束后钢水在钢包中以及从钢包到中间包长水口的保护。从中间包到铸坯,钢中全氧和夹杂物均有所增加,因此中间

表 1 通钢 Consteel 电弧炉主要技术参数

Table 1 Main parameters of Consteel EAF at Tonghua Steel

项目	参数
冶炼周期/min	55
平均出钢量/t	65
变压器容量/MVA	36(20% 过载)
电极直径/mm	550
冶炼电耗/($\text{kWh} \cdot \text{t}^{-1}$)	330
电极消耗/($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$)	1.6
产量/($\text{万 t} \cdot \text{a}^{-1}$)	48

表 3 炼钢过程钢水洁净度变化

Table 3 Change of cleanliness of liquid steel during steel-making process

过程	T[O]/10 ⁻⁶	[N]/10 ⁻⁶	夹杂物数量/(个·mm ⁻²)
精炼前	227	53.9	13.83
精炼后	35	59.6	3.47
中间包	51	76.4	4.44
铸坯	54	71.5	8.00

包没有很好起到去除夹杂物的作用。国内外很多钢厂的研究结果表明,中间包冶金是去除夹杂物的有效手段^[1,2]。因此,应采取有效措施,发挥中间包去除夹杂物的作用。

2.1 LF 精炼对钢中夹杂物的影响

经过 LF 精炼处理后,钢中的总氧量显著降低,由精炼前钢液中 T[O] 平均 227×10^{-6} 降低到精炼后平均 35×10^{-6} ,降低 84.6%。钢中显微夹杂物 ($< 50 \mu\text{m}$) 的数量精炼前为 13.83 个/mm²,精炼后为 3.47 个/mm²,平均减少 10.36 个/mm²,去除率为 74.9%。这说明 LF 精炼工艺,对降低钢中的 T[O] 和减少钢中显微夹杂物的数量都是非常有效的。

与 LF 处理前相比,LF 处理后的钢水试样中的夹杂物仍多为球状,且绝大部分铝酸盐转变成了各种钙铝酸盐,这主要是由于 LF 精炼后喂入钙线变性的结果;同时可以看到夹杂物尺寸较 LF 精炼前显著减小。

2.2 LF 精炼渣系对夹杂物去除的影响

合理的熔渣的渣指数 [(CaO/SiO₂): Al₂O₃] 变化范围为 0.25 ~ 0.35^[3],本次工业试验渣成分和渣指数见表 4,目前通钢 LF 精炼渣中的 Al₂O₃ 含量较低,导致了渣指数在 0.51 ~ 0.83 之间。因此为了取得更好的精炼效果,应该适当提高精炼渣中 Al₂O₃ 含量,使渣指数变化范围为 0.25 ~ 0.35,以利于精炼渣对夹杂物的吸收。

2.3 中间包钢水洁净度变化

表 4 精炼后钢包渣成分

Table 4 Ingredient of finished refining slag in Ladle furnace

炉号	精炼渣成分/%					渣指数 (CaO/SiO ₂): Al ₂ O ₃
	FeO	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	
3281	2.16	52.41	12.33	25.27	2.93	0.71
3282	0.47	60.77	5.55	24.97	2.93	0.83
3283	2.19	52.98	7.00	29.12	3.37	0.54
3284	2.25	49.25	9.25	27.60	3.19	0.56
3285	1.42	51.43	11.69	27.70	3.02	0.51
3286	0.71	56.64	6.62	27.85	3.64	0.56
3287	0.83	53.34	7.98	29.54	3.16	0.57
3288	1.19	55.89	9.14	26.52	3.57	0.59

正常浇铸时钢中 T[O] 平均为 47×10^{-6} ,钢包换包时钢中 T[O] 平均为 55×10^{-6} ,两者之间相差 8×10^{-6} ,因此应当重视中间包换包时钢水质量。

同精炼后钢中 [N] 平均为 59.6×10^{-6} 比较,到中间包后钢液中 [N] 增加了 27%,根据文献 [4~6] 中介绍的公式进行折算,相当于吸氧 25.7×10^{-6} ,即中间包有近 46% 的夹杂物来源于钢包到中间包浇铸空气二次氧化的产物。因此应注意从钢包到中间包钢液的保护,减少二次氧化。

中间包钢样中的非金属夹杂物主要有 3 类:(1) 硅铝酸钙复相非金属夹杂物,同时还有一定量的 MgO,这是主相夹杂物,其尺寸较小。(2) 硅钙酸盐,球状,尺寸较小,并且含有一定量的 MgO。(3) 不规则 MnS 夹杂。与精炼后相比,中间包钢样夹杂物中普遍含有 MgO,这可能来源于中间包的镁质内衬涂料。

2.4 铸坯洁净度

通过对 3 炉铸坯中典型的大型夹杂物的分析可知,其主要来源为:(1) 夹渣,主要组成为 CaO-SiO₂-MgO。(2) 二次氧化产物,主要是硅铝酸盐。连铸坯中大型夹杂物的含量除 3281 炉为 1.47 mg/10kg 外,3284 炉和 3286 炉分别为 6.39 mg/10kg 和 6.43 mg/10kg,钢中大型夹杂物含量须进一步降低。

3 结论

通钢目前由 65 t Consteel EAF-LF-CC 流程生产 40Cr 合金钢 150 mm × 150 mm 铸坯中的氧含量为 54×10^{-6} ,通过对各工序钢水洁净度的分析,进一步提高 40Cr 合金钢洁净度的关键,是预防钢水从钢包到中间包及中间包内钢水的二次氧化,并防止结晶器卷渣。

参考文献

- 1 王建军,包燕平,曲 英. 中间包冶金学. 北京:冶金工业出版社,2001
- 2 张立峰,蔡开科,曲 英. 连铸中间包钢水中夹杂物去除机理研究. 北京科技大学学报(英文版),1997(2):26
- 3 蒋国昌. 纯净钢及二次精炼. 上海:上海科学技术出版社,1996
- 4 董履仁,刘新华. 钢中大型夹杂物. 北京:冶金工业出版社,1991
- 5 傅 杰. 钢冶金过程动力学. 北京:冶金工业出版社,2001
- 6 蔡开科. 浇注与凝固. 北京:冶金工业出版社,1987

王 涛(1982-),男,硕士研究生,北京科技大学钢铁冶金专业毕业,冶炼和连铸工艺。

收稿日期:2006-10-13