

EAF-LF(VD) -CC 工艺生产石油管线钢 39Mn2V 纯净度的分析

唐海燕¹ 李京社¹ 王剑斌¹ 谢翠红¹ 孙开明² 温德松² 张 露² 王振祥²

(1 北京科技大学,北京 100083; 2 天津钢管公司,天津 300301)

摘 要 分析和研究了 EAF-LF(VD) -CC 各工序 39Mn2V 钢的 T[O] 和 [N] 以及钢中非金属夹杂物。结果表明,LF(VD) 后 T[O] 为 28×10^{-6} ,铸坯 T[O] 为 $(8 \sim 10) \times 10^{-6}$;钢中夹杂物主要为 Al₂O₃、MnS、球形铝酸钙,尺寸 $\leq 20 \mu\text{m}$ 。铸坯存在一些 80 ~ 300 μm 夹杂物,主要来源于二次氧化、耐火材料侵蚀和结晶器卷渣。

关键词 石油管线钢 39Mn2V 连铸坯 非金属夹杂物

An Analysis on Cleanliness of Pipe Line Steel 39Mn2V for Oil Field Produced by EAF-LF(VD) -CC Process

Tang Haiyan¹, Li Jingshe¹, Wang Jianbin¹, Xie Cuihong¹, Sun Kaiming²,
Wen Desong², Zhang Lu² and Wang Zhenxiang²

(1 University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Tianjin Pipe Corp Ltd, Tianjin 300301)

Abstract The total oxygen content (T[O]), nitrogen content ([N]) and non-metallic inclusion in steel 39Mn2V at each phase of EAF-LF(VD) -CC process have been analyzed and studied. The results indicated that the T[O] was 28×10^{-6} after LF(VD) refining and the T[O] of cast billet was $(8 \sim 10) \times 10^{-6}$; and the inclusions in steel were mainly Al₂O₃, MnS, spherical calciumaluminate with size $\leq 20 \mu\text{m}$. there were some inclusions with size 80 ~ 300 μm which originated from secondary oxidation, refractory material erosion and slag entrapment in mold.

Material Index Pipe Line Steel 39Mn2V, Concasting Billet, Non-metallic Inclusion

1 各工序钢中总氧、氮的变化

采用 150 t EAF-LF + VD-喂 Ca-Si 线工艺生产 39Mn2V 钢的化学成分见表 1。钢包到中间包采用全程吹氩保护长水口浇铸,中间包到结晶器采用浸入式水口保护浇铸,铸坯直径 310 mm。

表 2 可以看出,经过 LF 处理后钢水的平均 T[O] 由 52×10^{-6} 降为 39×10^{-6} ,降低了 25.0%, VD 处理后 T[O] 降为 28×10^{-6} ,较 LF 后降低了 28.2%;中间包 T[O] 和 [N] 略有上升,说明从钢包到中间包保护浇铸的密封性不好,存在少量二次氧化现象;头坯氧含量高是非稳态浇铸下卷渣或下渣造成的,这一点为大样电解产物所证明。

2 各工序钢中的显微非金属夹杂物和分布

由表 3 可见,与 LF 后相比,VD 喂丝后钢中

表 2 39Mn2V 钢各工序平均 T[O] 和 [N] 的变化

Table 2 Change of average T[O] and [N] of steel 39Mn2V at each phase of steelmaking

工序	T[O]/10 ⁻⁶	[N]/10 ⁻⁶
LF 前	52	43
LF 后	39	51
VD 后	28	49
中间包	30	52
头坯	37	52
正常坯	8	52
连浇坯	10	-
尾坯	10	-

球形铝酸钙夹杂明显增多,Al₂O₃ 夹杂减少。LF 中 MnS 多呈链状,但喂丝后大多变为近球形复合夹杂物。

中间包的非金属夹杂物类型与 VD 后夹杂物类型基本相近,但亮白色的 Al₂O₃ 夹杂减少。

结晶器中主要夹杂物有铝酸钙、硫化锰、硅酸铁,尺寸大部分 $\leq 5 \mu\text{m}$,同时出现了少量 $\geq 20 \mu\text{m}$ 含 Na、K 元素的夹杂,应是结晶器卷渣所致。

由图 1 可知,从 LF 到 VD,钢中显微夹杂物从 27.8 个/mm² 显著减少到 12.7 个/mm²,去除率达

表 1 中间包钢水的化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of steel in tundish /%

炉次	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Mo	V
1	0.38	0.21	1.54	0.020	0.008	0.01	0.07	0.01	0.12
2	0.37	0.25	1.50	0.020	0.007	0.01	0.08	0.01	0.13
3	0.38	0.24	1.54	0.015	0.008	0.02	0.03	0.03	0.12

表 3 LF 精炼和 VD 喂丝后 39Mn2V 钢水中非金属夹杂物的变化

Table 3 Change of non-metallic inclusions in molten steel 39Mn2V during LF refining and after VD-wire feeding

夹杂物	LF 精炼前	LF 精炼后	VD 喂丝后
Al ₂ O ₃	块状, 2~30 μm	块状	亮白色块状, 约 20 μm
MnS	链状, ≥10 μm		MnS 夹杂中含少量 Al、Ca
Al ₂ O ₃ -MnS	Al ₂ O ₃ 边缘包裹 MnS, 约 5 μm		
硅酸盐	不规则, SiO ₂ 为主, ≤5 μm	≤5 μm	
CaO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂		复合氧化物, ≤5 μm	
CaO-SiO ₂		复合氧化物, ≤5 μm	
硅酸铁			条状, 三角形
锰橄榄石		≤5 μm	
铝酸钙			球形, 2~20 μm

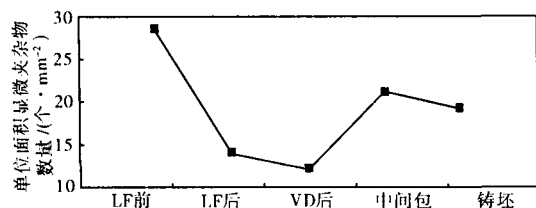


图 1 各工序 39Mn2V 钢中显微夹杂物的变化

Fig. 1 Change of micro-inclusions in steel 39Mn2V at different procedure

到 54.32%。从 VD 到中间包, 显微夹杂增加到 21.7 个/mm², 增加了 41.47%, 这是由于中间包保护浇注密封性差, 钢液二次氧化造成的。

3 铸坯中大型夹杂物类型和粒径分布

部分铸坯含有下列几类大型夹杂物: (1) 以 MnO-SiO₂-Al₂O₃ 为主要成分的球形复合夹杂物, 尺寸约为 100 μm, 数量最多; (2) 块状 Al₂O₃, 数量较多, 尺寸约为 200 μm; (3) 块状硅酸盐, 数量较多; (4) 含 Na、K 氧化物达 10%~30% 的硅铝酸盐; (5) 以 MnO-SiO₂-CaO 为主要成分的球形复合夹杂物, 数量较多; (6) 少量的球形铝酸钙; (7) 少量含镁较高的氧化物复合夹杂。

分析其原因, (1)、(3)、(5) 类夹杂物主要是由于脱氧和二次氧化产物在碰撞、聚集、长大过程中未及时排出钢液造成的; (4) 类夹杂物来源于结晶器卷渣; (7) 类夹杂物来源于中间包耐火材

料。铸坯中 200 μm 左右的 Al₂O₃ 夹杂, 可能是由于浇铸过程中, 浸入式水口内表面堆积的 Al₂O₃ 夹杂物被钢流冲刷、剥落进入结晶器造成的^[1,2]。

从表 4 可见, 铸坯中大型夹杂物含量在铸坯长度方向上的分布为尾坯 > 头坯 > 连浇坯 > 正常坯; 稳态浇铸时夹杂物平均含量为 0.197 mg/kg, 非稳态浇铸时夹杂物平均含量为 0.435 mg/kg; 铸坯中 80~140 μm、140~300 μm 的夹杂物所占比例分别为 39.30% 和 43.98%。因此, 钢中大型夹杂物主要分布在 80~300 μm 之间, 此类夹杂物对钢的危害很大, 也可能是导致部分钢管表面出现裂纹的主要原因之一。

表 4 铸坯中大型夹杂物的粒径分布

Table 4 Size distribution of large inclusions in cast billet

取样位置	夹杂物总量/(mg·kg ⁻¹)	不同粒径(μm)夹杂物分布/(mg·kg ⁻¹)			
		<80	80~140	140~300	>300
头坯	0.500	0.023	0.136	0.250	0.091
正常坯	0.197	-	0.087	-	0.066
连浇坯	0.248	-	0.135	0.090	-
尾坯	0.551	-	0.230	0.318	-

注: “-”表示夹杂物量太少, 无法称量

4 结论

(1) 采用 EAF-LF(VD)-CC 工艺, LF 处理后, 钢液 T[O] 含量在 39 × 10⁻⁶ 左右, 铸坯 T[O] 含量在 9 × 10⁻⁶ 左右, 该工艺生产的石油管线钢可以达到较高的洁净度水平。

(2) 为减少部分铸坯中 80~300 μm 的夹杂物, 应加强钢包到中间包长水口的密封保护, 采用钢包下渣检测和中间包液面检测装置, 中间包开浇时浸入式水口上方采用挡渣措施; 适当减小钢包吹氩流量, 改进结晶器电磁搅拌工艺, 使用优质的耐火材料等。

参考文献

- 1 Chakraborty S. Reduction of Alumina Slivers at Great Lakes No. 2 Continuous Caster. Steelmaking Conference Proceedings. Chicago: AIME, 1994: 389
- 2 Chakraborty S, Hill W. Improvements in Steel Cleanliness at Great Lakes No. 2 Continuous Caster. Steelmaking Conference Proceedings. Nashville: AIMS, 1995: 401

唐海燕(1970-), 女, 在读博士研究生, 从事高质量石油管线钢的工艺研究。