

200 t LD-LBAr-CC 流程生产低碳铝镇静钢的洁净度

易正明 肖慧

(武汉科技大学钢铁冶金及资源利用省部共建教育部重点实验室, 武汉 430081)

摘要 钢厂试验的低碳铝镇静钢(/% :0.036~0.037C, 0.009Si, 0.173~0.176Mn, 0.012~0.013P, 0.005~0.006S)生产流程为200 t LD转炉-钢包吹Ar精炼(LBAr)-230 mm×1 300 mm板坯连铸工艺。通过LD转炉挡渣出钢,并加入Mn-Fe、铝丸进行预脱氧和合金化3 min, 钢水T[O]和[N]分别为 91.8×10^{-6} 和 19.4×10^{-6} , 在氩站经10~12 min 25~45 m³/h流量吹氩和3~5 min 15~25 m³/h的软吹氩后, T[O]降至 42.3×10^{-6} , [N]为 22.0×10^{-6} , 中间包和铸坯T[O]分别为 38.3×10^{-6} 和 28.9×10^{-6} , [N]分别为 23.6×10^{-6} 和 26.5×10^{-6} 。该流程生产的铸坯满足T[O]≤ 30×10^{-6} 的内控要求。经氩站精炼后, 显微夹杂物去除率为30.0%, 而大型夹杂物去除率达58.7%; 显微夹杂物主要为脱氧产物Al₂O₃; 大型夹杂物主要为SiO₂、Al₂O₃、SiO₂-Al₂O₃、CaO-SiO₂-Al₂O₃。

关键词 低碳铝镇静钢 LD-LBAr-CC 流程 钢包吹氩 洁净度 夹杂物

Cleanliness of Low Carbon Al-Killed Steel Produced by 200 t LD-LBAr-CC Flow Sheet

Yi Zhengming and Xiao Hui

(Key Laboratory for Ferrous Metallurgy and Resources Utilization of Ministry of Education, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081)

Abstract The production flow sheet for test low carbon Al-killed steel (/% : 0.036~0.037C, 0.009Si, 0.173~0.176Mn, 0.012~0.013P, 0.005~0.006S) at steel works is 200 t LD converter-ladle blowing argon (LBAr)-230 mm×1 300 mm slab casting process. With slag stopping at LD converter tapping, adding Mn-Fe and aluminium bullet to deoxidizing and alloying for 3 min, the liquid T[O] and [N] are respectively 91.8×10^{-6} and 19.4×10^{-6} , blowing argon with flow rate 25~45 m³/h for 10~12 min then soft blowing argon with 15~25 m³/h for 3~5 min in ladle at argon station, the T[O] decreases to 42.3×10^{-6} and the [N] is 22.0×10^{-6} , in tundish liquid and in slab the T[O] is respectively 38.3×10^{-6} and 28.9×10^{-6} and the [N] is respectively 23.6×10^{-6} and 26.5×10^{-6} . The slab produced by this flow sheet meets the internal control requirement i. e. T[O]≤ 30×10^{-6} . After refining at argon station the amount of micro-inclusions in steel decreases by 30.0%, while the amount of large inclusions decreases by 58.7%; the micro-inclusions in steel are mainly deoxidation product Al₂O₃, while the large inclusions in steel are mainly SiO₂, Al₂O₃, SiO₂-Al₂O₃ and CaO-SiO₂-Al₂O₃.

Material Index Low Carbon Al-Killed Steel, LD-LBAr-CC Flow Sheet, Ladle Blowing Argon, Cleanliness, Inclusions

低碳铝镇静钢广泛用于生产深冲用冷轧板,对钢的洁净度要求十分严格^[1-4]。吹氩是一种重要的精炼手段,不但能够均匀钢水成分和温度,还可以促进钢水中非金属夹杂物聚集和上浮^[5],从而提高钢水洁净度。钢厂采用200 t LD-LBAr(钢包吹氩)-CC工艺生产低碳铝镇静钢,本文针对转炉出钢到连铸过程(合金化3 min、精炼结束、中间包和铸坯)中显微夹杂物、大型夹杂物和T[O]、[N]进行分析,了解各个工序钢水洁净度水平,为进一步提高低碳铝镇静钢质量提供依据。

1 研究方法

200 t LD冶炼,采用挡渣出钢,出钢时加入Mn-Fe、Al丸进行预脱氧及合金化,钢水到达氩站后,立即进行测温取样,然后喂铝线进行终脱氧以及微调

Si、Mn、Al。吹氩强度先强后弱;进站后用25~45 m³/h大流量吹氩,在出站前用15~25 m³/h的流量软吹氩3~5 min,氩站处理时间大约15 min后,将钢包运至浇注平台连铸成规格为230 mm×1 300 mm的板坯。表1为氩站的基本工艺参数,中间包

表1 氩站钢包吹氩的基本工艺参数

Table 1 Basic process parameters for ladle blowing argon at argon station

项目	参数
氩气纯度/%	99.9
供气压力/MPa	0.21~1.5
吹氩流量/(m ³ ·h ⁻¹)	10~90
吹氩速度/(m ³ ·min ⁻¹)	0~1.5
喂丝速度/(m·min ⁻¹)	2~300
喂丝机喂丝直径/mm	8~18

表 2 试验低碳铝镇静钢的主要化学成分/%

Table 2 Main analysis of test low carbon Al-killed steel /%

炉序	C	Si	Mn	P	S
1	0.037	0.009	0.174	0.012	0.006
2	0.036	0.009	0.173	0.013	0.006
3	0.036	0.009	0.176	0.012	0.005

钢水成分如表 2 所示。

在一个浇次里选取连续 3 炉钢水,分别在转炉出钢到连铸(合金化 3 min,吹氩结束、中间包和铸坯)过程中取大样电解样和金相样。在钢包浇注一半时在中间包内取样;在连铸坯取样位置如图 1 所示。用大样电解法分析钢中大型夹杂物,用金相法分析显微夹杂物,同时检测钢中 T[O]、[N]。

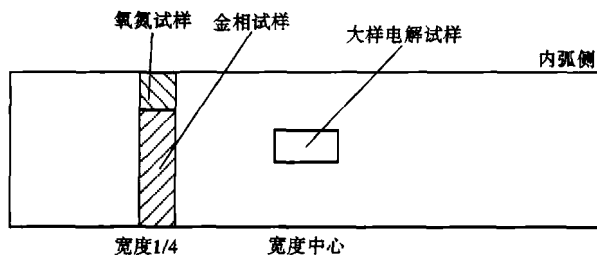


图 1 低碳铝镇静钢连铸坯分析取样示意图

Fig. 1 Schematics of sampling in slab of low carbon Al-killed steel for analyzing

2 结果与分析

2.1 T[O]和[N]变化

钢中 T[O] 及 [N] 分析结果如表 3 所示。由表 3 可知,转炉出钢到连铸的过程(合金化 3 min、精炼结束、中间包和铸坯),钢中 T[O] 是逐渐下降的。合金化 3 min 到精炼结束钢中 T[O] 有明显的下降,下

表 3 各工序低碳铝镇静钢 T[O]、[N] (平均值)/10⁻⁶

Table 3 Average T[O] and [N] in low carbon Al-killed steel at each steelmaking process /10⁻⁶

工序	T[O]	[N]
LD 出钢合金化 3 min	91.8	19.4
钢包吹氩精炼后	43.2	22.0
中间包	38.3	23.6
铸坯	28.9	26.5

降了 52.9%, 这表明在吹氩过程中,钢水中部分溶解氧被释放出来,而且由于吹氩的搅拌作用使夹杂物聚集和上浮,从而大幅度降低了钢中 T[O]。

精炼结束钢中 T[O] 为 43.2 × 10⁻⁶, 而中间包内钢中 T[O] 下降

到 38.3 × 10⁻⁶, 下降了 11.3%, 可见精炼结束后合理的镇静时间是非常有利于夹杂物的上浮去除。由于中间包具有良好的去除非金属夹杂物的能力,中间包到铸坯的过程中钢中 T[O] 由 38.3 × 10⁻⁶ 下降到 28.9 × 10⁻⁶, 降低了 24.5%。钢厂低碳铝镇静钢内控要求 T[O] ≤ 30 × 10⁻⁶, 可见采用此工艺生产低碳铝镇静钢满足内控要求。

精炼过程中增氮 2.6 × 10⁻⁶, 这说明精炼过程中氩气流量过大,导致钢水裸露并与空气接触,发生吸氮,故吹氩强度有待优化。精炼结束到铸坯过程增氮 4.5 × 10⁻⁶, 这说明保护浇铸水平有待提高。

2.2 显微夹杂物

如表 4 所示,在合金化 3 min-氩站处理结束-中间包-铸坯的过程中,钢中显微夹杂物含量逐级降低,铸坯中显微夹杂物数量为 7.27 个/mm²;吹氩精炼结束,钢中显微夹杂物降幅为 30.0%, 大于 20 μm 的夹杂物去除率为 29.31%。因此,氩站精炼对去除钢中夹杂物起到了一定的效果。文献[6]报道武钢第二炼钢厂深冲用铝镇静钢经过小流量较平稳的钢包底吹 Ar 处理,抑制了顶渣卷混,二次氧化等现象,氧化物夹杂总量比处理前降低了 45.3%, 大于 20 μm 的夹杂物从钢水中全部分离去除。与武钢二炼钢相比,钢厂氩站精炼工艺需进一步优化。对不同工序钢中显微夹杂物进行扫描电镜与能谱分析,各工序夹杂物主要是脱氧产物 Al₂O₃, 还有少量的 MnS、SiO₂ 夹杂物。

2.3 大样电解分析

由表 5 可知,合金化 3 min 到铸坯的过程中,钢中大型夹杂物 (> 50 μm 的夹杂物) 数量分别为 28.29、11.69、11.43、5.08 mg/10 kg, 是逐渐降低的,经过氩站精炼后,大型夹杂物去除率为 58.7%, 精炼效果明显。一般经氩站钢包吹氩精炼后钢水和铸坯中大型夹杂物数量均比较低^[7-8]。

对各个工序大型夹杂物进行组分分析发现,尽管各工序夹杂物数量不同,但是夹杂物的类型基本一样,大型夹杂物主要为 SiO₂、Al₂O₃、SiO₂-Al₂O₃、

表 4 各工序低碳铝镇静钢中平均显微夹杂物含量

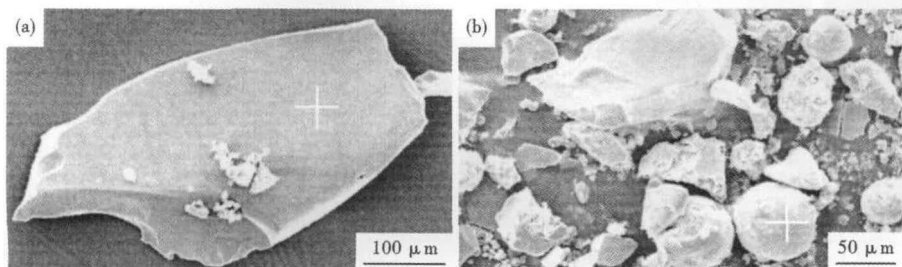
Table 4 Average amount of micro-inclusions in low carbon Al-killed steel at each steelmaking process

工序	显微夹杂物粒径(μm)分布/%					单位面积夹杂物个数/(个·mm ⁻²)
	0~5	5~10	10~15	15~20	>20	
LD 出钢合金化 3 min	61.77	21.15	10.73	2.86	3.50	19.94
钢包吹氩精炼结束	65.89	21.27	8.82	2.71	1.30	13.95
中间包	66.53	21.77	8.55	1.92	1.23	11.97
铸坯	67.82	21.12	8.29	1.82	0.95	7.27

表5 各工序低碳铝镇静钢中平均大型夹杂物数量

Table 5 Average amount of large inclusions in low carbon Al-killed steel at each steel-making process

工序	电解量/ g	夹杂物总量		显微夹杂物粒径(μm)分布/%			大型夹杂物数量 ($>50\ \mu\text{m}$)mg/10 kg
		mg	mg/10 kg	<50	50~100	>100	
LD出钢合金化3 min	1 249.5	7.46	59.46	52.19	27.95	19.86	28.29
钢包吹氩精炼结束	1 137.0	3.08	27.03	56.69	28.20	15.11	11.69
中间包	1 213.2	3.87	31.81	64.05	18.30	17.65	11.43
铸坯	1 486.3	2.14	14.46	64.83	26.53	8.64	5.08

图2 低碳铝镇静钢中典型的CaO-SiO₂-Al₂O₃夹杂物形貌:(a)大型块状~300 μm ;(b)球状,20~50 μm Fig. 2 Morphology of typical CaO-SiO₂-Al₂O₃ inclusion in low carbon Al-killed steel: (a) large lump, ~300 μm ; (b) globular, 20~50 μm

CaO-SiO₂-Al₂O₃、SiO₂、Al₂O₃和SiO₂-Al₂O₃多源于脱氧产物或二次氧化,CaO-SiO₂-Al₂O₄来源于渣的卷入,或渣与脱氧产物反应而形成的。CaO-SiO₂-Al₂O₃有两种形态:

(1)块状,尺寸较大,有的甚至超过300 μm ,如图2(a)所示,根据形状及成分分析其可能是来源于卷渣;

(2)球状,其尺寸在20~50 μm ,如图2(b)所示,其可能是渣与脱氧产物反应而形成的。

3 结论

(1)LD转炉出钢到连铸过程中,钢中T[O]是逐渐降低的,经氩站精炼后,T[O]降低了52.9%,氩站精炼效果明显。铸坯中T[O]为 28.9×10^{-6} 。精炼过程中增氮 2.6×10^{-6} ,精炼结束到铸坯增氮

4.5×10^{-6} 。

(2)LD转炉出钢到连铸过程中,钢中显微夹杂物和大型夹杂物数量均呈下降趋势,经氩站精炼后,显微夹杂物去除率仅为30.0%,而大型夹杂物去除率高达58.7%。铸坯中大型夹杂物数量为5.08 mg/10 kg。

(3)显微夹杂物主要为脱氧物Al₂O₃,还有少量的MnS、SiO₂夹杂物;大型夹杂物主要为SiO₂、Al₂O₃、SiO₂-Al₂O₃、CaO-SiO₂-Al₂O₃。

参考文献

- [1] 袁晓鹏,李宏,王新华,等.转炉-ANS-连铸工艺生产低碳铝镇静钢洁净度研究[J].钢铁,2003,38(11):15-16.
- [2] 张立,王俊,孙宝德.转炉-连铸工序生产低碳铝镇静钢中夹杂物的研究[J].铸造技术,2004,25(12):908-909.
- [3] 杨晓江,徐志荣,王新华.低碳铝镇静钢洁净度及非金属夹杂物的研究[J].钢铁研究,2008,36(2):14-18.
- [4] 魏军,柳向椿,蔡开科,等.CSP低碳铝镇静钢非金属夹杂物行为研究[J].钢铁,2004,39(增刊):443-446.
- [5] 赵沛,成国光,沈甦.炉外精炼及铁水预处理使用技术手册[M].北京:冶金工业出版社,2004:134-135.
- [6] 区铁.转炉工艺操作和钢包吹氩对钢中氧化物夹杂的影响[J].炼钢,1995(2):29-33.
- [7] 张爱民,张晓峰,张英才.连铸板坯中大型氧化物夹杂的研究[J].山东冶金,2002,24(2):36-38.
- [8] 王健.承钢炼钢厂45#钢质量研究[D].沈阳:东北大学,2006:51-52.

易正明(1973-),男,博士,副教授,2007年中南大学毕业,炼钢工艺技术和新产品开发。E-mail:csuyzm@163.com

收稿日期:2012-10-22

下期要目

- 连铸板坯结晶器液面波动及冲击深度水模型研究 刘红军等
- 八流方坯连铸中间包结构优化研究 熊辉辉等
- 0.47C-0.36Si-0.67Mn钢连铸板坯低温轧制过程变形抗力模型 梁精龙等
- 轧制润滑和辊速差对热轧U型钢板桩轧制头部翘曲影响的模拟实验 刘升等
- Al₂O₃-SiO₂-CaO精炼渣系对55SiCrA弹簧钢夹杂物形态控制的影响 王向红等
- 150 t钢包底吹氩的水模型研究 李文双等
- 回转容器内炉渣颗粒流动的数值模拟 顾宪宇等