

CSP生产DQ深冲低碳钢连铸薄板坯中非金属夹杂物研究

飞尚才¹ 蒋小霞² 苟宁年² 徐楠²

(1 青海高等职业技术学院,海东 810799,2 宁夏大学,银川 750021)

摘要 为了改善酒钢CSP流程生产的低碳铝镇静钢中的非金属夹杂物问题,对其炼钢和连铸等各个阶段取样,通过金相组织分析、电子探针及扫描电镜观察对钢中氧夹杂物进行了研究。结果表明,现行工艺铸坯中含T[O] 30×10^{-6} 以上,通过采用转炉冶炼N₂/Ar切换工艺、LF软吹 ≥ 6 min、钢包浇注余量2%~4%等工艺措施后,使2 μm 夹杂物 $\geq 66\%$,球形夹杂物 $\geq 94\%$,夹杂物类型以钙铝酸盐加一定量CaS为主。工艺优化后,各项指标满足DQ级深冲钢的要求。

关键词 低碳铝镇静钢 CSP 连铸薄板坯 非金属夹杂

A Study on Non-Metallic Inclusion in DQ Deep-Drawing Low Carbon Steel Casting Slab Produced by CSP Process

Fei Shangcai¹, Jiang Xiaoxia², Gou Ningnian² and Xu Nan²

(1 Qinghai Higher Vocational & Technical Institute, Haidong 810799, 2 NING XIA University, Yinchuan 750021)

Abstract For improving the problem of non-metallic inclusions in low carbon aluminum killed steel produced by CSP process at Jiuquan steel Co, with sampling at each phase of steelmaking and continuous casting, the study of inclusions in steel is carried out by metallographic analysis, electron probe and scanning electron microscopy. The results show that under the current process conditions, the casting slab T[O] is more than 30×10^{-6} , by BOF blowing N₂/Ar exchange process, LF soft blowing ≥ 6 min and lable heel 2%~4%, the 2 μm inclusions $\geq 66\%$ and spherical inclusions $\geq 94\%$, and the type of inclusions is mainly calcium aluminate plus a certain amount of CaS. After the process optimization, all indexes meet the requirements of DQ deep drawing steel production.

Material Index Low Carbon Aluminum Killed Steel, CSP, Continuous Casting Thin Slab, Non-Metallic Inclusions

当前,薄板坯连铸连轧工艺(CSP)的研究主要集中在薄板坯连铸连轧的产品开发、连铸连轧的工艺热轧板组织性能控制等方面^[1-5],而对薄板坯的夹杂物研究工作却少。本研究全过程分析了钢中夹杂物的水平及演变规律、薄板坯中夹杂物的数量和分布。通过工艺优化后,各项指标达到生产DQ级深冲钢的要求。

1 工艺路线、参数及研究方法

实验钢种为低碳铝镇静钢,生产工艺流程为:转炉-LF-中间包-连铸-连轧。入炉铁水条件Si 0.3%~0.6%,P $\leq 0.9\%$,S $\leq 0.01\%$,温度 ≥ 1260 $^{\circ}\text{C}$ 。转炉铁水停留时间 ≤ 40 min,温度控制在1660~1680 $^{\circ}\text{C}$,LF钢水停留时间 ≤ 55 min,温度控制在(1610 ± 5) $^{\circ}\text{C}$;中间包温度控制在1565~1585 $^{\circ}\text{C}$ 。钢包容量120 t,中间包容量36 t,薄板坯宽度850~1680 mm,厚度50~70 mm,热轧成品厚度0.8~12.7 mm,宽度850~1680 mm。

利用金相分析、电子探针及扫描电镜观察分析了钢中的含氧量、显微夹杂和大型夹杂。

2 试验结果与讨论

2.1 钢中的氧

本次试验生产各工序钢中氧含量的变化如图1所示。

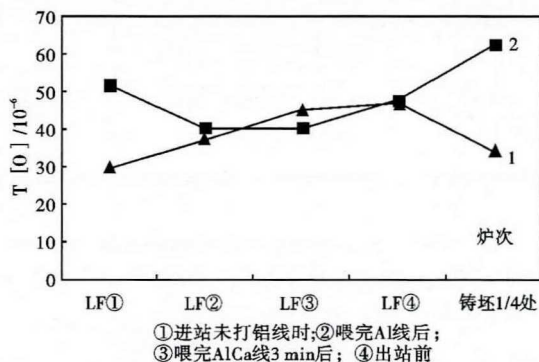


图1 各工序钢中T[O]的变化

Fig. 1 Change of T[O] in steel at each steelmaking phase

图 1 分析表明, $T[O]$ 都在 30×10^{-6} 以上, 并随着各工序的处理呈现上升趋势, 这可能与喂铝线脱氧效果较差和 LF 密封出现漏洞导致钢水氧化有关。

2.2 钢中夹杂物数量变化

从图 2 中可以看出, LF 进站钢水中夹杂物数量平均不到 10 个; 而 LF 出站时夹杂物数量总体上是增加的, 说明 LF 喂铝脱氧及喂钙处理后夹杂物去除效果较差, 到中间包夹杂物数量相对 LF 出站变化不大, 说明中间包覆盖剂作用发挥良好, 没有发生较严重的二次氧化现象。其次, 由于中间包主要是利于大型夹杂物的上浮去除, 中间包夹杂物数量相对 LF 出站变化不大也说明此次试验生产钢包下渣以及中间包覆盖剂卷渣现象控制较好^[5]。到铸坯阶段, 夹杂物数量增加到平均 12.32 个/ mm^2 , 分析认为, 出现这种现象主要与浇注过程水口密封操作和结晶器卷渣有关^[3]。

2.3 夹杂物的粒径分布

从表 1 可以看出, 不管是在 LF 工序还是铸坯中, 夹杂物的粒径基本都不超过 $10 \mu\text{m}$, 62% 以上夹杂物的尺寸不大于 $2 \mu\text{m}$ 。说明现行的工艺条件下, 夹杂物粒径控制基本能符合生产 DQ 级冷轧薄板的要求。

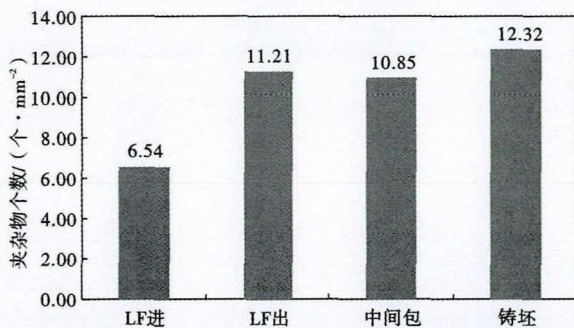


图 2 各冶炼工序夹杂物平均数量

Fig. 2 Average number of Inclusions at each steelmaking phase

表 1 各工序钢中夹杂物粒径分布

Table 1 Particle size distribution of inclusions in steel at each steelmaking phase

工序	不同粒径夹杂物的百分比/%				
	$<2 \mu\text{m}$	$2 \sim 5 \mu\text{m}$	$5 \sim 10 \mu\text{m}$	$10 \sim 20 \mu\text{m}$	$>20 \mu\text{m}$
LF	62.22	34.07	3.7	0	0
中间包	75	20.83	4.17	0	0
铸坯	66.04	24.53	6.6	2.83	0

表 2 各工序钢中夹杂物形貌组成

Table 2 Morphology and ratio of inclusions at each steel-making phase

夹杂形貌	各工序夹杂物形貌组成/%			
	LF 前	LF 后	中间包	铸坯
球形	7.62	97.1	95.78	91.57
不规则	92.38	2.9	4.22	8.43

2.4 夹杂物的形貌和组成

由表 2 和表 3 可知, 在 LF 钢水钙处理前, 夹杂物均以不规则形状居多, 类型主要为纯 Al_2O_3 或铁铝酸盐; LF 处理后以球形居多, 占比平均在 97% 以上, 类型以钙铝酸盐加一定量 CaS 为主; 中间包夹杂物形貌以球形居多, 占比平均在 95% 以上, 类型仍以低熔点钙铝酸盐(或加一定量 CaS)为主; 铸坯试样中, 夹杂物形貌以球形为主, 平均占比在 91.57%, 类型主要是钙铝酸盐(或加一定量的 CaS), 且发现多含有少量的 MgO 。

3 工艺优化措施及效果

3.1 工艺优化措施

(1) 转炉操作: 顶底复吹: 转炉冶炼采用 N_2/Ar 切换, N_2 吹 10 min 后切换 Ar 气, 要求保证搅拌良好, 转炉出钢前强搅 2 ~ 3 min 使钢渣反应达到平衡, 以降低钢中 O 含量和 P 含量; 尽量减少后吹; 严格控制出钢过程下渣量, 出钢口必须完好, 出钢时间必须大于 3 min。控制出钢口卷吸下渣, 总下渣量 $\leq 3.5 \text{ kg/t}_{\text{钢}}$ (渣层厚度小于 50 mm, 每炉都测量); 所用钢包要清理干净, 不得有余钢余渣, 并要保证 LF 炉盖下落密封。

(2) 精炼操作: 保证电极质量好, 在使用过程中避免折断、掉块、开裂等, 以控制精炼过程增碳量; 精炼过程实现微正压(即稍微有烟尘从包沿冒出), 以防钢水吸氧、吸氮; 控制好 LF 处理过程中的吹 Ar 强度: 即加热化渣、脱 S 时、测温取样时、喂丝时的吹 Ar 流量; 静吹时渣面严禁裸露, 静吹时间 $\geq 6 \text{ min}$ 。在精炼操作过程中, 钢水不能大翻, 以防钢水增 O; 采用低 C、低 Si 的造渣材料造渣, 确保精炼渣的流动性和还原性良好, 渣中的 $(\text{SiO}_2) < 5\%$;

(3) 连铸操作: 使用 Si 和 C 含量低的中间包覆盖剂, 以防增 Si、增 C; 换钢包长水口时间控制在 2 min 以内, 且必须密封; 中间包采取恒重操作; 浸入式水口 SEN 对中要好, 防止偏流; 适当增加钢包浇注余量, 控制在 2% ~ 4%, 减少下渣; 浇注过程中防止结晶器液面突然波动过大, 防止卷渣; 尽可能发挥保护渣吸附 Al_2O_3 夹杂物的能力。

3.2 工艺优化后的效果

工艺优化后, 对铸坯中的各项指标进行了检验, 检验结果如表 4 所示。

4 结论

生产 DQ 级深冲钢最佳工艺参数为:

(1) 转炉冶炼采用 N_2/Ar 切换, N_2 吹 10 min 后

表3 各个冶炼工序钢中夹杂物的组成
Table 3 Ingredient of inclusions in steel at each steelmaking phase

工序	钢中夹杂物形貌图		钢中夹杂物成分/%
LF前			(a) Al ₂ O ₃ :65.57, FeO:34.43 (b) Al ₂ O ₃ :62.33, FeO:37.67
LF后			(a) Al ₂ O ₃ :63.23, CaS:28.52, CaO:8.25 (b) Al ₂ O ₃ :69.69, CaS:14.12, CaO:16.19
中间包			(a) Al ₂ O ₃ :65.52, CaS:3.18, CaO:31.30 (b) Al ₂ O ₃ :76.05, CaS:5.65, CaO:18.29
铸坯			(a) MgO:2.96, Al ₂ O ₃ :71.67, CaO:25.37 (b) MgO:1.10, Al ₂ O ₃ :63.69, CaO:35.21

表4 工艺优化后铸坯检验结果
Table 4 Examination results on casting bloom after process optimization

T [O] /10 ⁻⁶	夹杂物/ (个·mm ⁻²)	粒径尺寸百分比/%					夹杂物形貌		夹杂物组成
		<2µm	2~5µm	5~10µm	10~20µm	>20µm	不规则/%	5.66	
29	12.20	66.87	29.16	2.38	1.59	0.00	球形/%	94.34	 MgO:1.10% Al ₂ O ₃ :63.69% CaO:35.21%

切换 Ar 气, 转炉出钢前强搅拌 2 ~ 3 min 使钢渣反应达到平衡。

(2) 精炼过程实现微正压, 静吹时间 ≥ 6 min。

(3) 换钢包长水口时间控制在 2 min 以内, 且必须密封, 增加钢包浇注余量, 控制在 2% ~ 4%, 减少下渣。

宁夏大学人才引进科研启动基金项目 (BQD2014021) 资助

参考文献

[1] Tang Di. Quality Controlling for Products of Thin Slab Continuous

Casting and Rolling[J]. Iron and Steel, 1998, 33(7): 65-69.
[2] Wang Zhongbing. Mechanical Characteristics of Low Carbon Steel Sheets Produced on CSP Line[J]. Iron and Steel, 2001, 36(10): 33-35.
[3] 李桂军, 魏 军. CSP 连铸薄板坯中非金属夹杂物行为研究[J]. 钢铁, 2006, 41(7): 37-40.
[4] 牛爱华. CSP 发展现状与其供冷轧原料的探讨[J]. 河北冶金, 2006, 156(6): 12-14.
[5] 魏 军, 柳向椿. 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.

飞尚才 (1982-), 男, 硕士 (2011 年兰州理工大学), 副教授, 2005 东北大学毕业, 铝合金与钢铁板带材研究。
E-mail: qinghai1026@163.com

收稿日期: 2020-01-20