

优化 55 t LD-60 t LF-CC 工艺提高钢的洁净度

曹立国^{1,2} 魏雪晴² 丁秀中¹ 赵宏²

(1 石家庄钢铁有限责任公司, 石家庄 050031; 2 北京科技大学, 北京 100083)

摘要 控制 LD(氧气顶吹转炉)吹炼终点 C-低碳钢 0.08% ~ 0.10% C、中碳钢 0.10% ~ 0.15% C、高碳钢 $\geq 0.20\%$ C; 通过 LD 出钢时强化预脱氧, 控制出渣钢下渣率达 98%, 控制 LF 精炼 Als 为 0.020% ~ 0.035%, 保证精炼渣中(FeO) $\leq 0.5\%$, 喂 CaSi 线, 50 ~ 80 L/min 软吹氩时间 ≥ 7 min 以及全程保护浇注; 中间包采用高效保温吸渣剂及稳定连铸操作等工艺措施, 使石钢 55 t 转炉-60 t LF 冶炼流程在不进行真空处理的工艺条件下, 连铸坯中氧含量控制在 20×10^{-6} 以下。

关键词 LD-LF-CC 洁净钢 预脱氧 保护浇铸

Optimization of 55 t LD-60 t LF-CC Process to Upgrade Cleanliness of Steel

Cao Ligu^{1,2}, Wei Xueqing², Ding Xiuzhong¹ and Zhao Hong²

(1 Shijiazhuang Iron and Steel Co Ltd, Shijiazhuang 050031; 2 University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract The oxygen content in concasting billet has been controlled less than 20×10^{-6} in condition of non-vacuum treatment with 55 t LD-60 t LF melting flow sheet at Shijiazhuang Iron and Steel by the operation measures such as controlling LD blowing end-point carbon: low carbon steel 0.08% ~ 0.10% C; medium carbon steel 0.10% ~ 0.15% C and high carbon steel $\geq 0.20\%$ C, strengthening pre-deoxidation at steel tapping of LD, controlling slag tapping rate up to 98%, controlling Als 0.020% ~ 0.035% during LF refining, to ensure refining (FeO) $\leq 0.5\%$, feeding CaSi wire, 50 ~ 80 L/min soft blowing argon time ≥ 7 min, protective casting in whole process, using high efficiency holding and absorbing slag agent, and constant casting operation.

Material Index LD-LF-CC, Clean Steel, Pre-Deoxidation, Protective Casting

石钢公司针对自身特点, 走高效特钢之路, 炼钢厂在开发洁净钢方面, 相继采取一系列技术措施, 在不进行真空精炼的工艺条件下, 立足实际, 进行综合工艺优化, 钢中氧含量达到 15×10^{-6} 水平, 稳定控制在 20×10^{-6} 以下, 提高了钢水的洁净度。石钢炼钢厂转炉系统工艺流程为: 55 t LD(氧气顶吹转炉) \rightarrow 60 t LF \rightarrow 连铸 \rightarrow 热送轧制。

表 1 出入 LF 精炼工位钢中氧含量 [O] 的对比 / 10^{-6}
Table 1 Comparison of oxygen content in steel [O] between into and out of LF refining station / 10^{-6}

炉号	入 LF	出 LF
2246	22	16
2248	38	14
2249	24	23
2251	24	16
2252	200	32

1 LD 工艺控制

1.1 高拉碳降低钢中原始氧含量

LF 初始钢水氧含量的高低直接影响最终的氧含量(表 1), 因此应控制入 LF 的钢水氧含量。

经认真分析, 高拉碳可使钢中原始氧含量相对较低(图 1), 并且该操作是最经济的工艺措施。

经不断实践验证, 依据不同钢种, 结合操作水平确定了终点 C 控制标准:

低碳钢终点	C 0.08% ~ 0.10%
中碳钢终点	C 0.10% ~ 0.15%

高碳钢终点 C $\geq 0.20\%$

1.2 LD 出钢时加强钢水预脱氧

LD 出钢预脱氧可有效脱掉钢中溶解氧, 降低 LF 初渣中 FeO 含量, 同时形成有利于吸收夹杂物还原渣。依据终点 C 预报原始氧含量, 测算脱氧剂的加入量。

1.3 控制出钢下渣

在下渣情况下造成钢液氧化性过强, 钢水中合金氧化, 合金收得率过低, 造成酸溶铝含量降低, 入 LF 精炼工位时钢水中氧含量过高, 对 LF 进

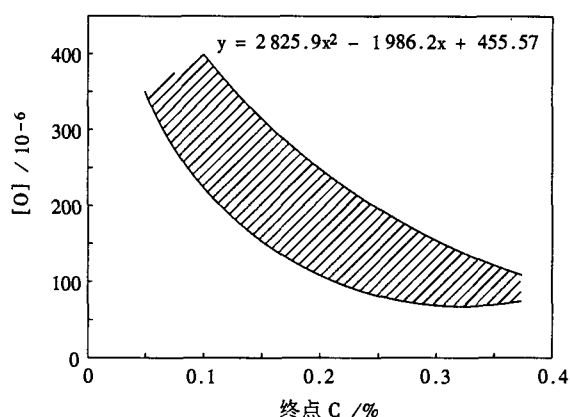


图 1 LD 转炉终点 C 对 [O] 的影响
Fig.1 Effect of LD converter end-point C on [O] mass fraction

一步降低氧含量增加负担。对此制定相应措施:

(1) 对挡渣球进行改型设计,优化不同阶段的挡渣效果;

(2) 摸索出钢下渣与出钢口使用寿命之间的关系,确定最佳的更换周期。

由图 2 可知,LD 出钢时间低于 100 s,下渣量增幅变大。据此制定了新的操作规范,在正常装人量下出钢时间低于 100 s。最终使下渣控制率达到 98% 的较高水平。

2 LF 工艺控制

2.1 控制精炼炉脱氧操作关键环节,降低钢中氧含量

钢水在 LD 出钢过程中经过预脱氧,保证钢

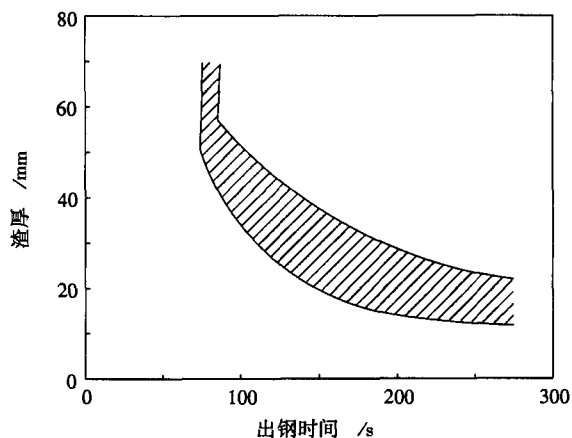


图 2 LD 转炉出钢时间对下渣量的影响
Fig.2 Effect of LD converter steel tapping time on slag tapping amount

液中酸溶铝含量后,钢液中溶解氧含量很低,因此在 LF 精炼过程中要降低钢中氧含量,实际是去除钢中夹杂物中的氧。LF 精炼的相关操作是确保最终钢水中氧含量低的关键环节之一。

2.2 微调酸溶铝,控制酸溶铝范围

在一般情况下,当钢液中 $[Al_s] = 0.02\% \sim 0.05\%$ 时,钢水脱氧完全,随着精炼过程的进行,钢中二次氧化夹杂物上浮。为了保证钢水夹杂物含量低、同时也使钢中溶解氧含量较低,根据不同钢种质量要求,在不增加成本压力的情况下,喂入相应数量铝线,严格控制 LF (Al_s) 在 $0.020\% \sim 0.035\%$ 之间,从而充分降低钢中氧含量。

2.3 造好精炼还原渣,确保白渣时间

到达 LF 精炼工位时,钢水氧化气氛较强,通过加入 SiC,进行扩散脱氧,尽快造成还原渣,喂铝线终脱氧,降低钢水中氧含量。从图 3 中可以看出,要使钢中氧含量控制在 15×10^{-6} 以下,必须保证精炼渣中 $(FeO) \leq 0.5\%$,通过控制 (FeO) ,保持渣子碱度在 4.0 左右后,形成了有利于吸收 Al_2O_3 夹杂的还原白渣,同时保持稳定的白渣 20 min 以上,可有效降低钢中氧含量,为连铸机提供氧含量较低的优质钢水。

2.4 喂入 CaSi 线进行变性处理

喂入铝线后,钢中串簇状大型铝酸盐夹杂物含量增加,易造成钢水在浇注过程中水口结瘤,当钢中 Ca/Al 比大于 0.14 时可形成低熔点铝钙酸盐,生成的 $CaO \cdot 2Al_2O_3$ 占大多数,能够显著改善钢水的流动性,在 LF 精炼操作中,根据钢中酸溶

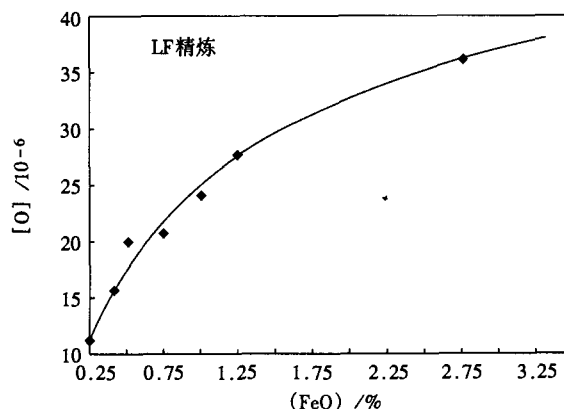


图 3 LF 精炼时的 (FeO) 对 $[O]$ 的影响
Fig.3 Effect of (FeO) during LF refining on $[O]$ mass fraction

铝含量可分成三个区间： $[Al] < 0.015\%$ 、 $0.015\% \leq [Al] \leq 0.025\%$ 和 $[Al] \leq 0.030\%$ ，在不同酸溶铝含量区间喂入不同数量的 CaSi 线，以便进行夹杂物变性处理，生成低熔点钙铝酸盐，既降低了钢中氧含量，又保证了钢水的流动性，减少了连铸生产过程中因钢水流动性差而带来的烧眼增氧现象。

2.5 确保软吹时间，让夹杂物充分上浮

为了让夹杂物充分上浮，进行适当时间的软吹是生产洁净钢主要措施之一，理论上软吹时间控制在 5 ~ 10 min，氩气流量控制在 50 ~ 80 L/min，即能够有效促进夹杂物上浮，在实际软吹操作中，控制软吹时间在 7 min 以上，以便充分保证大颗粒夹杂物上浮，净化钢水。

3 CC 工艺控制

石钢 4 机 4 流弧形连铸机连铸 150 mm × 150 mm 方坯，T 形中间包钢水容量为 24 t。M-EMS 电磁搅拌，二冷区分 3 段自动控制，气水雾化冷却。

在降低钢中氧含量方面，连铸生产的关键是防止钢水二次氧化生成新的氧化物夹杂及充分去除钢中夹杂物。为此，在防止钢水二次氧化及去除夹杂物方面主要采取了以下工艺措施。

3.1 实施全程保护浇注

为防止浇钢过程中钢水二次氧化，在钢包至中间包采用钢包套管，中间包至结晶器采用浸入式长水口，且在钢包套管上接氩气管道，进行氩气密封。钢包与钢包套管连接处垫有密封圈，防止钢水在浇注过程中与空气接触，造成钢水二次氧化，形成新的氧化物夹杂。通过 100 余炉次使用密封圈的工艺试验，钢包钢水至中间包钢水氧含量增加量大大减少：钢包与钢包套管连接处没有使用密封圈的炉次， $[O]$ 平均增加 9.3×10^{-6} ，使用密封圈的炉次， $[O]$ 平均增加 1.1×10^{-6} （见表 2），钢水洁净度进一步提高。

表 2 钢包与钢包套管连接处增加密封圈前后钢中氧含量的变化/ 10^{-6}

Table 2 Change of oxygen content in steel non-using and using sealing washer at connector from ladle to tundish / 10^{-6}

密封圈	钢包钢水中 氧含量	中间包钢水 氧含量	$[O]$ 平均 增加
未使用	13.4	22.7	+9.3
使用	13.6	14.7	+1.1

3.2 采用高效保温吸渣剂，充分吸收中间包钢水上浮夹杂物

随着生产节奏的加快，单中间包连拉炉数逐步增加，中间包内渣层厚度相应增加，为防止钢水在中间包液面、拉速波动时造成卷渣，在中间包内采用双层渣系，顶层渣采用保温剂，底层渣采用了中间包高效保温吸渣剂，充分对中间包内钢水进行保温覆盖，防止钢水与空气接触；同时充分吸收上浮硅酸盐、铝酸盐夹杂物，降低钢水中夹杂物含量，进一步净化钢水。生产实践表明，通过采用保温吸渣剂后，中间包渣中 SiO_2 、 Al_2O_3 显著增加（见表 3），吸渣剂吸收夹杂物效果明显，钢中夹杂物平均级别由 2.94 级下降到 2.8 级，下降了 0.14 级，钢水纯净度得到提高。

表 3 中间包吸渣剂对钢中平均夹杂物含量的影响/%
Table 3 Effect of absorbing slag agent on average mass fraction of inclusion in steel / %

项目	SiO_2	Al_2O_3
吸渣剂成分	13.80	9.40
中间包渣样	32.69	20.74
比较	+18.89	+11.34

3.3 实行连铸操作三稳定，减少卷渣

在连铸生产中，科学组织生产，在降低连铸钢水温度的同时，应稳定温度、稳定拉速、稳定中间包和结晶器钢水液面，尽量做到恒速浇注，减少因液面、拉速波动而造成卷渣和夹杂行为，减少铸坯中氧含量。

4 结语

(1) 通过综合工艺优化，减少了钢中溶解氧和夹杂物中的氧，降低了钢中的氧含量，提高了钢水洁净度。从 2004 年 10 月至 2005 年 4 月，转炉连铸坯中平均氧含量 $\leq 15 \times 10^{-6}$ ，最高炉次氧含量稳定控制在 20×10^{-6} 以下。

(2) 石钢炼钢厂转炉系统通过采取一系列技术措施进行综合工艺优化后，钢水洁净度大幅度提高，增强了产品市场竞争力，为开发洁净度要求较高的齿轮钢、轴承钢等高附加值产品创造了前提条件。

曹立国(1968-)，男，硕士，北京科技大学在读博士生，从事炼钢工艺研究与管理。