

CaO-Al₂O₃ 渣系对 20CrMoH 齿轮钢中总氧和硫的影响

林 伟¹ 李海波¹ 王新华¹ 陈天明² 杨素波²

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083; 2 攀枝花钢铁(集团)公司, 攀枝花 617067)

摘 要 研究分析了 CaO-Al₂O₃ 精炼渣系对 140 t LD Al 直接脱氧齿轮钢 T[O] 和 [S] 的影响。结果表明, 控制钢包渣中 CaO/Al₂O₃ 为 2.5, 可使 T[O] 降低到 0.001 3%; 当渣中 CaF₂ 为 5%, CaO/Al₂O₃ 为 2~3 时, 能够增强炉渣吸收氧化物夹杂的能力; 当 (SiO₂) 增至 6%~9% 时, 其含量变化对炉渣脱硫性能影响不大。当 (SiO₂) 为 5%~10% 时, 较佳精炼渣成分为 (%): 60~65 CaO, 20~30 Al₂O₃, 5~10 MgO, 5 CaF₂。

关键词 齿轮钢 CaO-Al₂O₃ 渣系 LD-LF Al 脱氧 脱硫

Effect of CaO-Al₂O₃ Slag Series on Total Oxygen and Sulphur in Gear Steel 20CrMoH

Lin Wei¹, Li Haibo¹, Wang Xinhua¹, Chen Tianming² and Yang Subo²

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;
2 Panzihua Iron and Steel (Group) Co, Panzihua 617067)

Abstract The effect of CaO-Al₂O₃ based refining slag series on T[O] and [S] of Al direct deoxidation gear steel melted by 140 t LD have been studied and analyzed. Results showed that with controlling CaO/Al₂O₃ = 2.5 in ladle slag, T[O] decreased to 0.001 3%; as CaF₂ in slag was 5% and CaO/Al₂O₃ was 2~3, the ability of slag to absorb oxide inclusions could be increased; as (SiO₂) increased to 6%~9%, the change of (SiO₂) had minor influence on ability of slag desulphurization. As (SiO₂) was 5%~10%, the optimum refining slag ingredient was 60~65 CaO, 20~30 Al₂O₃, 5~10 MgO and 5 CaF₂.

Material Index Gear Steel, CaO-Al₂O₃ Slag Series, LD-LF, Al Deoxidation, Desulphurization

采用 Al 脱氧工艺, 能降低齿轮钢中 T[O] 和 [S], 本文研究分析了 CaO-Al₂O₃ 渣系对 Al 直接脱氧齿轮钢中 T[O] 和 [S] 变化的影响以及如何通过控制精炼渣来控制齿轮钢中的总氧和硫。

1 试验工艺

20CrMoH 齿轮钢(表 1) 试验流程为 140 t LD-LF-RH-280 mm×380 mm CC。为冶炼超低氧钢, 在出钢过程中加入足够的 Al 脱氧^[1]。

试验采用 Thermo-Calc 热力学计算软件, 模拟分析了 SiO₂ 对试验 CaO-Al₂O₃ 精炼渣 1 873 K 下液态区域的影响。

2 试验结果与讨论

2.1 LF 处理后炉渣 CaO/Al₂O₃ 对 T[O] 的影响

试验采用 Al 直接脱氧, 齿轮钢中的 T[O] 为

0.001 3%~0.002 1%。钢水中的夹杂物主要是纯的 Al₂O₃, 易于上浮, 加 Al 后钢水 T[O] 下降很快。

试验采用 CaO-Al₂O₃ 渣系, 由于转炉下渣量很难控制在 50 mm 以内, 所以炉渣中有一定量的 SiO₂, 炉渣碱度控制较高, 取 LF 处理后的钢包渣作成分分析, CaO/Al₂O₃ 与 T[O] 的关系分别如图 1 所示。

由图 1 可以看出, 随着炉渣 CaO/Al₂O₃ 从 1.0 增大到 2.5 时, 钢液中 T[O] 从 0.002 1% 迅速下降到 0.001 3% 左右, 但随着 CaO/Al₂O₃ 继续增大到 3.5 时, 钢液中 T[O] 又反而增加。

通常在研究炉渣吸收夹杂物的能力时, 主要把炉渣组成控制在图 2 中的两个区域 A 和 B。前者主要考虑热力学因素, 后者主要考虑动力学因素^[2]。在 A 区域的优点是控制炉渣中的 CaO 尽可能饱和,

表 1 20CrMoH 齿轮钢的化学成分和气体含量
Table 1 Chemical composition and gas content of Gear Steel 20CrMoH

标准	化学成分/%									气体含量/10 ⁻⁶		
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	Ni	[N]	[H]	T[O]
国标	0.17~0.23	0.17~0.37	0.55~0.90	≤0.025	≤0.025	0.85~1.25	0.15~0.25	≤0.20	≤0.30			
内控	0.20±0.015	0.27±0.025	0.77±0.025	≤0.010	≤0.008	1.05±0.03	0.20±0.01			≤40	≤1.5	≤15

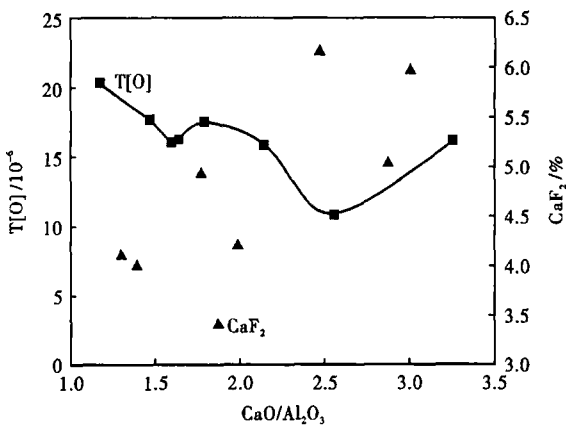


图 1 LF 处理后 (CaF₂)、T[O] 和 CaO/Al₂O₃ 的关系
Fig.1 Relation between (CaF₂), T[O] and CaO/Al₂O₃, after LF treatment

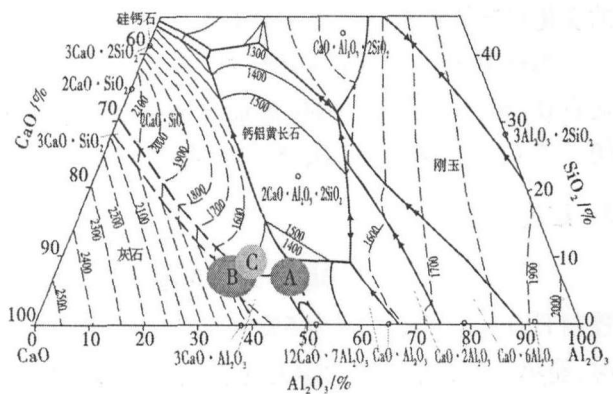


图 2 CaO-Al₂O₃-SiO₂ 相图中炉渣控制区域
Fig.2 Slag controlling region in phase diagram CaO-Al₂O₃-SiO₂

但是由于 A 区域炉渣的熔点很高,在炼钢温度下,炉渣的流动性很差;在 B 区域主要是利用炉渣的熔点低,流动性好。

试验对 A 区域炉渣的组成做了改进,即在炉渣中配入一定比例的 CaF₂,目的是既利用炉渣的高 CaO 含量,又保证炉渣的流动性。

根据图 1 和图 2,当 CaO/Al₂O₃ 从 1.0 增大到 2.5 时,从热力学角度考虑^[2],增加 CaO/Al₂O₃ 使炉渣中的 CaO 尽可能饱和,从而提高炉渣对氧化物夹杂的吸收能力,钢液中 T[O] 降低。但 CaO/Al₂O₃ 越高,炉渣的流动性显著降低,从动力学角度考虑, CaO/Al₂O₃ 过高不利于炉渣对氧化物夹杂的吸收,所以当 CaO/Al₂O₃ 从 2.5 继续增大时,钢液中 T[O] 又反而增加了。而且随着 CaO/Al₂O₃ 的升高,为保证炉渣的流动性,配加 CaF₂ 的量也相应增加^[3],过高的 CaF₂ 含量还容易腐蚀炉衬。

试验对相图 2 A 区炉渣成分进行改进后,在炉渣中含 5% CaF₂ 时,应控制 CaO/Al₂O₃ 为 2~3,可

以使炉渣成分控制在相图中的 C 区,试验证明,在 C 区域的炉渣成分吸收氧化物夹杂的能力要比 A 区和 B 区都有所提高,C 区的炉渣集合了 A、B 区的热力学和动力学的优点。

2.2 炉渣中 SiO₂ 含量对钢水中 T[O] 的影响

由于转炉下渣量很难控制在 50 mm 以内,所以炉渣中不可避免有一定量的 SiO₂。

采用 Thermo-Calc 热力学计算软件,分析了 SiO₂ 对炉渣 1 873 K 下液态区域的影响(图 3,表 2)。

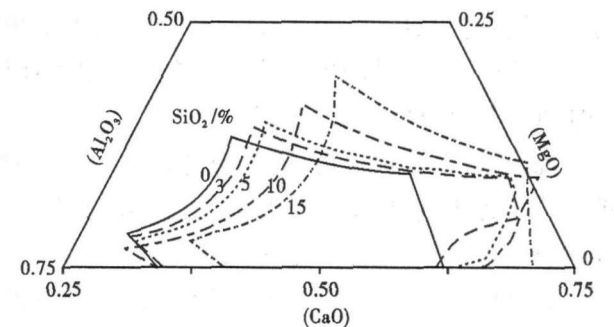


图 3 SiO₂ 对 CaO-Al₂O₃-MgO 炉渣 1 873 K 液态区域的影响
Fig.3 Effect of SiO₂ on liquid region of slag CaO-Al₂O₃-MgO at 1 873 K

表 2 1 873 K 炉渣液态区域的炉渣成分/%
Table 2 Ingredient of slag in liquid region at 1 873K /%

5% SiO ₂			10% SiO ₂		
CaO	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
33.5	0	61.5	31.2	0	58.8
31.5	1.3	62.2	28.9	0.9	60.2
30.1	2.2	62.7	26.8	1.8	61.4
29.2	2.7	63.1	29.1	2.3	58.6
31.2	3.3	60.5	33.0	3.5	53.5
32.9	4.1	58.0	35.6	5.1	49.3
34.7	5.3	55.0	36.6	6.7	46.7
35.5	6.5	53.0	36.9	7.4	45.7
35.8	7.5	51.7	37.2	8.2	44.6
36.1	9.5	49.4	37.2	9.3	43.5
36.1	10.4	48.5	37.2	10.7	42.1
36.1	12.3	46.6	36.9	12.2	40.9
35.8	13.1	46.1	36.4	13.7	39.9
35.5	14.2	45.3	35.9	15.0	39.1
37.3	13.3	44.4	37.7	14.1	38.2
38.7	12.8	43.5	39.2	13.5	37.3
40.4	12.2	42.4	43.1	12.0	34.9
42.7	11.5	40.8	45.5	11.2	33.3
45.9	10.8	38.3	48.3	10.7	31.0
49.4	10.0	35.6	51.9	9.7	28.4
51.7	9.5	33.8	53.5	9.3	27.2
53.7	9.5	31.8	55.3	9.0	25.7
55.7	9.2	30.1	57.7	8.6	23.7
58.6	8.9	27.5	60.0	8.3	21.7
60.9	8.9	25.2	60.0	6.7	23.3
62.3	6.8	25.9	60.0	6.0	24.0
62.3	5.4	27.3	60.2	4.7	25.1
62.3	3.6	29.1	60.5	2.9	26.6
62.3	2.2	30.5	60.0	1.7	28.3
62.3	1.0	31.7	59.7	1.0	29.3
61.2	0.4	33.4	59.7	0.2	30.1
59.6	0	35.4	58.6	0	31.4

由图 3 可见, SiO_2 含量在 0 ~ 15% 之间变化时, 随着其含量的增加, $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 渣系的液相区域逐渐增大, 并且逐渐向 CaO 含量高的方向移动。但是 CaO 含量的增加会导致炉渣流动性变差, 所以又应该尽量减少炉渣中 SiO_2 含量。

从表 2 可见, 在 5% SiO_2 、5% ~ 10% MgO 时, 为控制炉渣在液态区域, 钢包渣 CaO 和 Al_2O_3 成分应该控制在 (%): 35 ~ 65 CaO 、25 ~ 55 Al_2O_3 ; 在 10% SiO_2 、5% ~ 10% MgO 时, 钢包渣 CaO 和 Al_2O_3 成分应该控制在 (%): 35 ~ 60 CaO 、20 ~ 50 Al_2O_3 。综合考虑控制炉渣 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 为 2 ~ 3 之间时, 炉渣中 SiO_2 为 5% ~ 10% 时, 炉渣成分控制在 (%): 60 ~ 65 CaO 、20 ~ 30 Al_2O_3 、5 ~ 10 MgO 。

现场试验(图 4)可得, 随着钢包渣中 SiO_2 含量的升高, 钢水的 $T[\text{O}]$ 升高; 这是因为当炉渣中 $(\text{FeO} + \text{MnO}) \leq 0.5\%$ 时, 钢液中的 Al 首先还原炉渣中的 SiO_2 , 从而降低了脱氧效果。说明在用铝粒强脱氧的条件下, 钢包渣中 SiO_2 成为了氧化钢水的主要因素, 所以要尽量控制转炉下渣, 减少钢包渣中 SiO_2 含量。

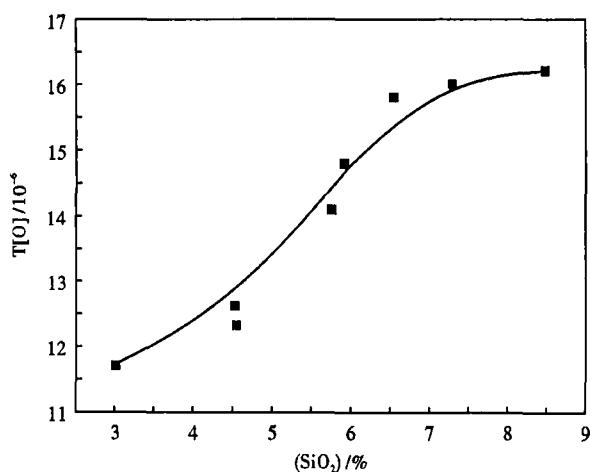


图 4 RH 真空处理后 (SiO_2) 和 $T[\text{O}]$ 的关系

Fig. 4 Relation between $T[\text{O}]$ and (SiO_2) after RH vacuum treatment

2.3 炉渣中 SiO_2 含量对钢水中 $[\text{S}]$ 的影响

试验采用的 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ 渣系的脱 S 效果能达到 20×10^{-6} 左右。

图 5 现场试验可见, 随着 SiO_2 含量的增加, 硫分配比急剧减少, 当 SiO_2 含量超过 6% 直至 9% 时, 硫分配比稳定在 60 左右。结合图 4 可知, 当 SiO_2 在 6% ~ 9% 之间时对钢液中 $T[\text{O}]$ 的影响不大, 所以此时对于炉渣脱硫效果也影响不大。(SiO_2) 增加会降低炉渣的脱硫性能, 应该尽量减少钢包渣中 SiO_2 含量。当 SiO_2 增加到 6% ~ 9% 之间时, 其含量

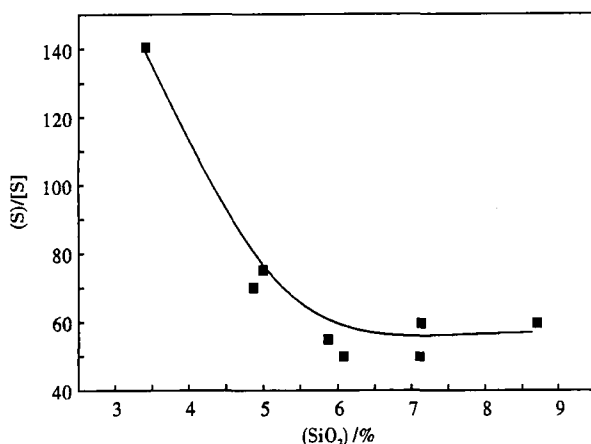


图 5 LF 处理后 (SiO_2) 和 $(\text{S})/[\text{S}]$ 的关系

Fig. 5 Relation between SiO_2 and $(\text{S})/[\text{S}]$ after LF treatment

的变化对炉渣的脱硫性能影响不大。

当渣中 SiO_2 为 5% ~ 10% 时, 满足控制钢中较低 $T[\text{O}]$ 和 $[\text{S}]$ 条件的钢包渣成分应控制在 (%): 60 ~ 65 CaO 、20 ~ 30 Al_2O_3 、5 ~ 10 MgO 、5 CaF_2 。

3 结论

(1) 控制炉渣 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ 为 2.5 左右时, 能较好控制 $T[\text{O}]$ 。 CaF_2 含量为 5%, $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 为 2 ~ 3 时, 能集合热力学和动力学的优点, 增强炉渣吸收氧化物夹杂的能力, $T[\text{O}]$ 可降至 0.001 3%。

(2) SiO_2 含量从 0 增加到 15% 之间时, $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 渣系的液相区域逐渐增大, 并且逐渐向 CaO 含量高的方向移动。所以要降低 $T[\text{O}]$, 必然要控制高碱度渣, 尽可能减少 SiO_2 含量。

(3) SiO_2 含量的增加会降低炉渣的脱硫性能, 当 SiO_2 增加到 6% ~ 9% 之间时, 其含量的变化对炉渣的脱硫性能影响不大。5% ~ 10% SiO_2 时, 合适的钢包渣成分 (%) 为: 60 ~ 65 CaO 、20 ~ 30 Al_2O_3 、5 ~ 10 MgO 、5 CaF_2 。

参考文献

- 1 李海波, 林 伟, 王新华, 等. 铝脱氧钢中尖晶石夹杂物的生成和转变. 特殊钢, 2007, 28(4): 30
- 2 Yoon B H, Heo K H, Kim J S, et al. Improvement of Steel Cleanliness by Controlling Slag Composition. Ironmaking and Steelmaking, 2002, 29(3): 215
- 3 李 阳, 姜周华, 姜茂发. $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ 基精炼渣对钢液脱氧的影响. 钢铁研究学报, 2002, 14(5): 12

林 伟(1983-), 男, 在读硕士, 主要研究洁净钢的冶炼和特殊钢中总氧和非金属夹杂物的控制。

收稿日期: 2007-10-15