

坩埚实验中渣组成对合金钢液洁净度的影响

姜 敏 陈 斌 王新华

(北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083)

摘 要 通过 Si-Mo 高温炉 MgO 坩埚实验,研究了在 1 873 K 时, CaO-Al₂O₃-SiO₂ 渣成分对 0.42C-1.15Cr-0.2Mo 钢液 T[O] 以及硫分配比 L_s- (S)/[S] 的影响。发现渣碱度- (CaO + MgO)/SiO₂ 由 1 增加到 3 时, T[O] 由 0.001 4% 迅速减少至 0.001 0%, 此后碱度升高, T[O] 变化不明显。(FeO + MnO) ≤ 0.50% 时, T[O] ≤ 0.001 0%; (FeO + MnO) 超过 0.50% 时, T[O] 明显升高至 0.001 4%。渣碱度、渣中 Al₂O₃ 活度和 [Al] 对 L_s 影响明显: 渣中 Al₂O₃ 活度升高, L_s 减小; 渣碱度、[Al] 升高, L_s 增大。

关键词 合金钢 洁净度 总氧 渣 硫分配比

Effect of Slag Ingredient on Cleanliness of Alloy Steel by Crucible Experiment

Jiang Min, Chen Bin and Wang Xinhua

(School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract The effect of CaO-Al₂O₃-SiO₂ slag ingredient on T[O] in 0.42C-1.15Cr-0.2Mo steel and sulphur partition ratio L_s- (S)/[S] at 1 873 K has been studied by experiment of MgO crucible in Si-Mo high temperature furnace. It was found that with increasing slag basicity- (CaO + MgO)/SiO₂ from 1 to 3, the T[O] dramatically decreased from 0.001 4% to 0.001 0%, and with further increasing basicity, the change of T[O] was not obvious; as (FeO + MnO) ≤ 0.50%, the T[O] was ≤ 0.001 0% and as (FeO + MnO) more than 0.50%, the T[O] obviously increased to 0.001 4%; the slag basicity, activity of Al₂O₃ in slag and [Al] had obvious influence on L_s, that was with increasing the activity of Al₂O₃ in slag, the L_s decreased and with increasing the slag basicity and [Al], the L_s increased.

Material Index Alloy Steel, Cleanliness, Total Oxygen Content, Slag, Sulphur Partition Ratio

当钢的强度超过 1 000 MPa 后, 强度级别越高, 疲劳寿命对夹杂物越敏感^[1-3]。1 200 MPa 级别以上高强度钢的疲劳破坏, 主要由夹杂物引起^[4-6]。本研究通过实验室坩埚实验, 以合金钢为例, 探讨了炉渣成分对合金结构钢液洁净度的影响。

1 坩埚实验

实验中渣基本组成为 CaO-Al₂O₃-SiO₂ 系, 由化学分析纯原料按不同比例配制而成。钢样质量为 150 g, 渣质量为 30 g。炉渣初始成分见表 1。钢样成分 (%) 为 0.42C、0.25Si、0.65Mn、0.010P、0.004S、1.15Cr、0.2Mo。钢中初始 T[O] 为 0.001 5%。

实验采用 MgO (MgO ≥ 99.0%) 坩埚, 在 Si-Mo 高温炉中升温到 1 873 K, 以此作为反应的零时间点开始计时, 在 1 873 K 保温 90 min 后将坩埚取出水

淬冷却, 得到钢样与渣样, 随后对试样化学成分进行分析。实验全过程进行封闭和氩气气氛保护。

2 结果与讨论

2.1 T[O] 与渣成分的关系

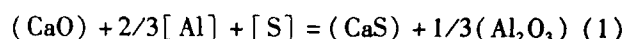
实验发现, 钢液 T[O] 非常低, 在 0.001 0% ~ 0.001 4%, 洁净度非常高。

随着 (FeO + MnO) 提高, T[O] 明显升高。当 (FeO + MnO) ≤ 0.50%, T[O] 为 0.001 0%, 当 (FeO + MnO) 超过 0.50% 时, T[O] 增加明显, 由 0.001 0% 升高到 0.001 4%, 如图 1(a) 所示。

随着碱度升高, T[O] 明显降低。当渣碱度由 1 变为 3 时, T[O] 由 0.001 4% 左右很快下降为 0.001 0%; 但是, 炉渣碱度继续升高, 当碱度为 3、5、7 时, T[O] 变化不明显, 如图 1(b) 所示。

2.2 渣成分对渣脱硫能力的影响

脱硫反应为:



根据(1)式可知, 对低硫钢液进行深脱硫时, 除需要高的渣碱度外, 钢液中还必须含有一定的

表 1 实验用渣的初始成分

Table 1 Initial ingredient of top slag in experiment

碱度 (CaO/SiO ₂)	1	3	5	7
Al ₂ O ₃ /%	10, 20, 30, 40, 50	20, 30, 40, 50	30, 50	50

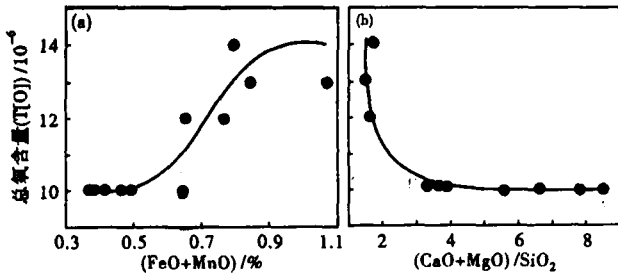


图 1 (FeO + MnO) (a) 和 (CaO + MgO)/SiO₂ (b) 对 T[O] 的影响

Fig.1 Effect of (FeO + MnO) (a) and (CaO + MgO)/SiO₂ (b) on T[O]

[Al], 以维持钢-渣间较低的氧势, 钢液中才能得到比较低的硫含量。(1)式的平衡常数有:

$$K_1 = \frac{f_{CaS} \cdot (S) \cdot a_{Al_2O_3}^{1/3}}{[S] \cdot a_{CaO} \cdot [Al]^{2/3}} \quad (2)$$

$$L_s = (S)/[S] \quad (3)$$

根据(2)式可知, 1 873 K 下, (S)/[S] 随碱度、酸溶铝含量的增加而升高, 随渣中 Al₂O₃ 活度的升高而降低。通过(4)式^[7]可计算炉渣中 Al₂O₃ 活度。

$$\log a_{Al_2O_3} = [-0.275(CaO) + 0.167(MgO)] / (SiO_2) + 0.033(Al_2O_3) - 1.560 \quad (4)$$

因为采用 MgO 坩埚, 考虑到坩埚中的 MgO 将进入炉渣, 替代部分 CaO 的碱性作用, 所以采用 (CaO + MgO)/SiO₂ 作为渣碱度计算公式。

实验发现, 硫在炉渣与钢液间的分配比 L_s = (S)/[S] 为 2 ~ 30, 随着炉渣碱度由 2 升至 8, (S)/[S] 由 2 升至 30 左右; 随着炉渣中 Al₂O₃ 活度升高, (S)/[S] 迅速降低; 钢中 [Al] 升高, (S)/[S] 升高。相比较而言, (S)/[S] 受渣中 Al₂O₃ 活度的影响最

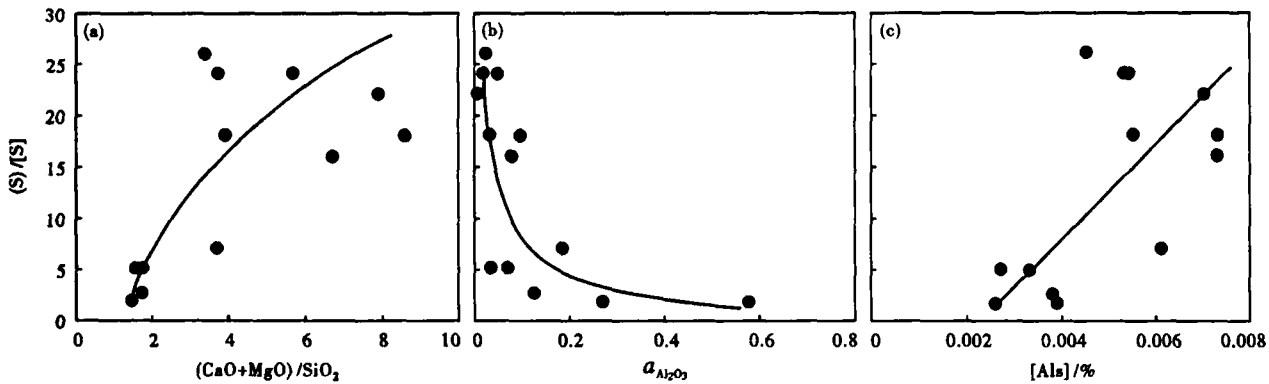


图 2 碱度(a)渣中 Al₂O₃ 活度(b)和钢中酸溶铝含量(c)对硫分配系数 L_s 的影响

Fig.2 Effect of basicity (a), activity of Al₂O₃ in slag (b) and soluble aluminum content in steel (c) on sulphur partition ratio L_s

为明显, 如图 2 所示。

3 结论

(1) 碱度由 1 增加到 3 时, T[O] 由 0.001 4% 迅速减少至 0.001 0%, 此后碱度升高, T[O] 变化不明显; 为了将 T[O] 控制在 0.001 0%, 渣碱度应该大于 3, 渣中 (FeO + MnO) ≤ 0.5%。

(2) L_s 在 2 ~ 30 时, 随炉渣碱度、钢中酸溶铝含量升高而增加, 随渣中 Al₂O₃ 活度升高而降低。比较而言, 渣中 Al₂O₃ 的活度对 L_s 的影响最为显著。

国家自然科学基金项目资助(编号: 2004CB619106)

参考文献

- 1 张红梅. 400 MPa 控轧控冷优化工艺和工业实验. 钢铁研究, 2001 (6): 27
- 2 揭泽章. 超级钢铁材料研究现状. 上海钢研, 1999(3): 25

- 3 Lund T, Akesson J. Oxygen Content, Oxidic Microinclusions, and Fatigue Properties of Rolling Bearing Steels. Effect of Steel Manufacturing Processes on the Quality of Bearing Steels. ASTM, 1986, 4-6 Nov. Phoenix Arizona, USA: 308
- 4 Chapetti M D, Tagawa T, Miyata T. Ultra-long Cycle Fatigue of High-strength Carbon Steels Part I: Review and Analysis of the Mechanism of Failure. Materials Science and Engineering A356, 2003: 227
- 5 Chapetti M D, Tagawa T, Miyata T. Ultra-long Cycle Fatigue of High-strength Carbon Steels Part I: Estimation of Fatigue Limit for Failure From Internal Inclusions. Materials Science and Engineering A356, 2003: 235
- 6 Yang Z G, Li S X, Zhang J M, et al. The Fatigue Behaviors of Zero-inclusion and Commercial 42CrMo Steels in the Super-long Fatigue Life Regime. Acta Materialia, 2004(52): 5235
- 7 Ohta H, Suito H. Activities of SiO₂ and Al₂O₃ and Activity Coefficients of Fe₂O and MnO in CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO. Metallurgical and Materials Transactions B, 1998(29): 119

姜 敏(1982-), 男, 博士研究生, 北京科技大学毕业。