

## 降低脱磷铁水-60 t AOD-LF-150 mm × 150 mm CCM 冶炼 0Cr13 钢全氧含量的生产实践

王百顺 冯文甫 郭 键 叶凡新 马富平 曹红波  
(邢台钢铁有限责任公司炼钢厂, 邢台 054027)

**摘 要** 采用 CO 二次燃烧、3.5% ~ 5.0% Si 高碳铬铁、合金烘烤等热补偿技术,降低了 800 kg 还原产物 SiO<sub>2</sub> 以提高 Si 的脱氧能力;AOD 炉渣碱度控制在 2.3 ~ 2.4,并在 AOD 二次还原、LF 精炼过程配比 5 kg/t 活性石灰,可提高脱氧、脱硫效率 30% 以上;在 CaO-SiO<sub>2</sub>-MgO 渣系 (CaO)/(SiO<sub>2</sub>) = 2.2 时,萤石的加入量控制在石灰总量的 13% ~ 17% 时,炉渣粘稠度较好,对化渣、吸附夹杂有利,使 Φ5.5 mm 线材全氧含量由优化前 60 × 10<sup>-6</sup> ~ 90 × 10<sup>-6</sup> 降至 30 × 10<sup>-6</sup> ~ 40 × 10<sup>-6</sup>,S 含量由原 0.005% ~ 0.010% 降至 0.003% ~ 0.007%。

**关键词** 60 t AOD 精炼渣系 全氧含量 生产实践

## Production Practice of Decreasing Total Oxygen Content in Steel 0Cr13 Steelmaking by Dephosphorized Metal- 60 t AOD-LF-150 mm × 150 mm CCM

Wang Baishun, Feng Wenfu, Guo Jian, Ye Fanxin, Ma Fuping and Cao Hongbo  
(Steelmaking Workshop, Xingtai Iron and steel Corp Ltd, Xingtai 054027)

**Abstract** With the thermal compensation technology including using CO secondary burning, 3.5% ~ 5.0% Si high carbon ferrochromium and alloys baking, the reduced product SiO<sub>2</sub> decreases by 800 kg to increase the deoxidation ability of silicon; with controlling AOD slag basicity 2.3 ~ 2.4 and carried out secondary reduction in AOD refining, and adding 5 kg/t active lime in LF refining process, the efficiency of deoxidation and desulphurization increases by more than 30%; and with (CaO)/(SiO<sub>2</sub>) = 2.2 of CaO-SiO<sub>2</sub>-MgO slag series controlling adding amount of fluorite amounting to 13% ~ 17% of the total lime to get better slag viscosity and be available to slagging and absorbing inclusions, the total oxygen content in Φ5.5 mm wire rod decreases to 30 × 10<sup>-6</sup> ~ 40 × 10<sup>-6</sup> from 60 × 10<sup>-6</sup> ~ 90 × 10<sup>-6</sup> before optimization and the S content decreases to 0.003% ~ 0.007% from original 0.005% ~ 0.010%.

**Material Index** 60 t AOD, Refining Slag Series, Total Oxygen Content, Production Practice

0Cr13 作为低碳铁素体不锈钢,具有成本低、耐腐蚀和可成型性优良等诸多特点,邢台钢铁有限责任公司(邢钢)生产的 Φ5.5 mm 的 0Cr13 盘条,经过下游客户多道次拉拔后,生成 Φ0.13 mm 细丝制成厨房、工业用清洁球。然而,0Cr13 钢水洁净度对产品的表面质量、耐蚀性、拉拔断丝率产生很大的影响。

### 1 0Cr13 不锈钢全氧含量调研

邢钢生产 0Cr13 不锈钢时采用脱磷铁水→60 t AOD→LF→CCM(150 mm × 150 mm 方坯),全程采用硅脱氧,不使用铝等其他脱氧剂,成分如表 1 所示。轧制成线材后检测全氧含量达到 60 × 10<sup>-6</sup> ~ 90 × 10<sup>-6</sup>,其中夹杂物类型主要以 CaO、SiO<sub>2</sub> 复合型为主,如表 2 所示。该类夹杂主要来源于 AOD、LF 脱氧产生<sup>[1-3]</sup>。在处理过程中受各种条件影响不能被精炼渣有效吸附,残留在钢液中。

表 1 0Cr13 不锈钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of stainless steel 0Cr13 /%

C	Si	Mn	P	S	Cr
≤0.03	≤1.0	≤1.0	≤0.035	≤0.030	12.0 ~ 13.5

表 2 0Cr13 钢 Φ5.5 mm 线材中夹杂物成分/%

Table 2 Composition of inclusions in Φ5.5 mm wire rod of steel 0Cr13 /%

O	Si	Ca	Mg	S
33.21	13.86	47.13	3.20	1.22

### 2 降低 0Cr13 钢全氧含量实践

#### 2.1 补充 AOD 热量

在全铁水冶炼 0Cr13 钢工艺下,由于脱磷铁水中不含铬元素,需要在氧枪吹氧脱碳过程中加入大量的铬铁合金、渣料,加之消耗返回废钢、炉衬散热等因素造成 AOD 温度热量欠缺高达 15% ~ 40%。按照表 3 物料测算温度空缺达到 600 ℃,如果热量

表 3 60 t AOD 冶炼过程中物料加入量

Table 3 Adding amount of charge in 60 t AOD refining process

铁水温度/ ℃	铁水碳/ %	铁水/ t	高碳铬铁/ t	返回废钢/ t	石灰/ t
1 300	3.5	47	13	4	5~7

得不到满足就发生高达 3% ~ 5% 的铬元素氧化。

在 AOD 的还原期,通过加入硅铁、萤石等还原、化渣剂将脱碳期氧化的 Cr、Mn、Fe 等元素重新还原到钢液中。随着还原产物 SiO<sub>2</sub> 的增加,炉渣碱度降低,CaO-SiO<sub>2</sub>-MgO 渣系中 SiO<sub>2</sub> 活度提升,硅脱氧能力减弱。通过采用 CO 二次燃烧技术、使用 3.5% ~ 5% 硅含量的高碳铬铁、合金烘烤至 250 °C 等热补偿技术后<sup>[4]</sup>,在脱磷铁水直兑入 AOD 冶炼不锈钢时,AOD 的热量需求得到补充,Cr 氧化量降低至 1%,实现还原产物 SiO<sub>2</sub> 量的降低约 800 kg,提升硅脱氧能力。

### 2.2 选用活性石灰强化脱氧、脱硫

AOD 侧吹搅拌强度为 1 m<sup>3</sup>/(min · t),是 LF 底吹搅拌强度的 50 ~ 100 倍,为脱氧、脱硫提供良好的热力学和动力学条件。由于在酸性渣中 CaO 全部被 SiO<sub>2</sub> 结合而无脱硫能力,故脱硫要在碱性渣条件下才能进行<sup>[5]</sup>。熔渣中 CaO 具有良好的脱硫效果,而且随着熔渣碱度的增大,渣中自由 CaO 含量增多,炉渣的脱氧、脱硫能力增大,同时还有助于铬的还原。但碱度过高会引起炉渣粘稠而不利于脱硫反应进行。炉渣碱度与钢液硫含量的关系如图 1 所示。

由图 2 可知,还原期将炉渣碱度保持在 2.3 ~ 2.4 是脱硫的关键因素之一。因此,冶炼时选活性度大于 380 mol/mL 的活性石灰,按照 AOD 二次还原补加 200 kg、LF 50 kg 的方案,经测试脱硫效果十

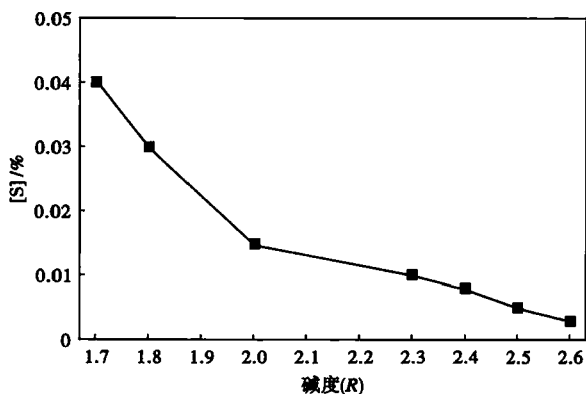


图 1 AOD 还原渣碱度对钢液中 S 含量的影响

Fig. 1 Effect of basicity of AOD reduction slag on S content in liquid

分明,如图 2 所示。

AOD 炉渣优化前后的组分和碱度见表 4。

### 2.3 萤石的配比

在 CaO-SiO<sub>2</sub>-MgO 渣系 (55% CaO, 25% SiO<sub>2</sub>, 8% MgO) 中 (CaO)/(SiO<sub>2</sub>) = 2.2 的炉渣熔点超过 1 600 °C,对于精炼过程炉渣变的粘稠不利于脱氧、吸附夹杂物。萤石作为化渣剂,具有不影响组分、熔点降低明显等特点。如图 3 所示,随着萤石加入量增加,熔渣、熔点降低较明显,但是加入量过大会加剧钢包的侵蚀,增加外来夹杂物,同时炉渣变的稀薄,吸附夹杂的能力降低。通过数据统计和摸索,在碱度 2.0 ~ 2.4 萤石的加入比例控制在石灰总量的

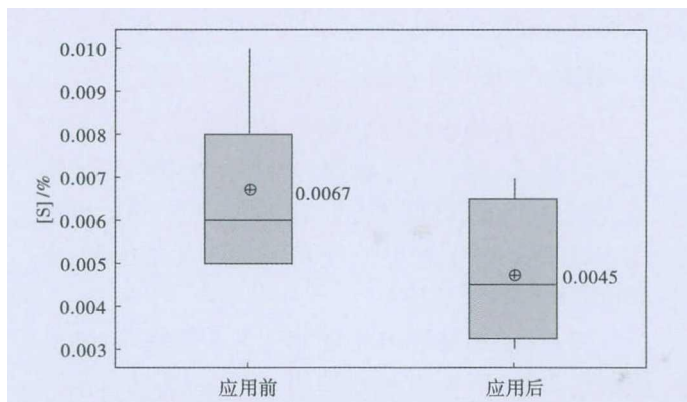


图 2 活性石灰应用前后钢液中 S 含量变化

Fig. 2 Change of S content in liquid before and after application of active lime

表 4 AOD 炉渣优化前后组分和碱度

Table 4 Ingredient of AOD slag before and after optimization and basicity

工艺	渣组成 / %					碱度 (R)
	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	FeO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
优化前	52	26	6.5	1.2	1.0	2.00
优化后	56	24	6.2	0.6	0.6	2.33

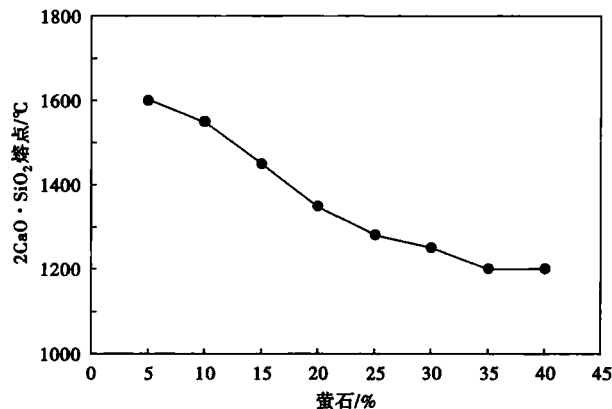


图 3 萤石比例对 2CaO · SiO<sub>2</sub> 熔点的影响

Fig. 3 Effect of fluorite proportion on melting point of 2CaO · SiO<sub>2</sub>

表 5 工艺优化前后 0Cr13 钢线材全氧及 S 含量  
 Table 5 Total oxygen content and S content in wire rod of steel 0Cr13 before and after process optimization

工艺	全氧量/ $10^{-6}$	S 含量/%
优化前	60 ~ 90	0.005 ~ 0.010
优化后	30 ~ 40	0.003 ~ 0.007

13% ~ 17%。

### 3 效果对比

通过采用 AOD 热补偿技术满足 AOD 热量需求,降低 Cr 氧化量提升还原期硅脱氧能力,采用活性石灰调整碱度以及调整萤石比例后,0Cr13 钢线材全氧含量降低至  $30 \times 10^{-6} \sim 40 \times 10^{-6}$ ,效果较明显。

### 4 结论

(1)在全铁水冶炼 0Cr13 不锈钢时,需要采用热补偿技术- CO 二次燃烧,3.5% ~ 5.0% 高碳铬铁,合金烘烤等,降低了 800 kg 还原产物  $SiO_2$  以提高 Si 的脱氧能力,解决了 AOD 热量不足的问题,提高还原期硅脱氧的能力。

(2)在使用硅脱氧生产 0Cr13 不锈钢时,碱度控制在 2.3 ~ 2.4,并配比使用 ~5 kg/t 活性石灰可提高脱氧、脱硫效率  $\geq 30\%$ 。

(3)在 0Cr13 不锈钢  $CaO-SiO_2-MgO$  渣系  $(CaO)/(SiO_2) = 2.2$  时,萤石的加入量控制在石灰总量的 13% ~ 17% 可使炉渣粘稠度较好,对化渣、吸附夹杂有利。使  $\Phi 5.5$  mm 线全氧含量和 S 含量分别从优化前  $60 \times 10^{-6} \sim 90 \times 10^{-6}$  和 0.005% ~ 0.010% 降至  $30 \times 10^{-6} \sim 40 \times 10^{-6}$  和 0.003% ~ 0.007%。

### 参考文献

[1] 范心智. 90 t LF 精炼 0Cr18Ni9 不锈钢的夹杂物控制工艺实践 [J]. 特殊钢, 2010, 31(6): 33-34.  
 [2] 李双江, 李 阳, 姜周华, 等. 409L 不锈钢中镁铝尖晶石夹杂物的生成研究 [J]. 东北大学学报, 2010, 31(6): 848-851.  
 [3] 付邦豪, 陈 超, 成国光, 等. 430 不锈钢冶炼过程的夹杂物 [J]. 钢铁, 2012, 47(1): 40-43.  
 [4] 叶凡新, 冯文甫, 郭志彬, 等. 60 t AOD 全铁水精炼 400 系不锈钢热补偿技术的工艺实践 [J]. 特殊钢, 2016, 37(6): 44-46.  
 [5] 王文德, 高贤明, 翟晓洲, 等. 马氏体不锈钢冶炼质量优化 [J]. 炼钢, 2013, 29(3): 6-9, 18.  
 [6] 刘志昌. 氧枪 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008: 40.

王百顺 (1990-), 男, 助理工程师, 2014 年河北联合大学 (本科) 毕业, 不锈钢冶炼技术研究。  
 E-mail: 215543638@qq.com

收稿日期: 2017-08-07

## 下 期 要 目

气体流量及水口底部形状对板坯结晶器内流场影响的水模型试验 ..... 刘启龙等  
 0.05C-14Mn-19Cr-0.7N 高氮奥氏体不锈钢电渣锭的高温塑性 ..... 李建新等  
 120 t BOF-LF-VD-CC 流程生产磨球钢 B2 的工艺实践 ..... 丰 年  
 无缝管用低硅 ST30Al 钢 LF 精炼过程钢水硅含量控制 ..... 印传磊等  
 合金工具钢 S2 盘条的开发 ..... 苑阳阳等  
 预应力钢 SWRH82B  $\Phi 12.5$  mm 盘条异常断口分析和工艺改进 ..... 和红杰等  
 提高 20CrMnTiH 齿轮钢冶金质量的工艺实践 ..... 杜东福等  
 固溶温度对 NS3105 合金  $\Phi 63$  mm  $\times$  10 mm 冷轧管晶粒长大倾向的影响 ..... 陆江帆等  
 NM360 耐磨钢的高温变形行为 ..... 李 龙等  
 热处理对塑料模具钢 NAK80 组织、硬度和时效动力学的影响 ..... 孙国栋等