

## 60 t AOD 生产 0Cr13C 钢不加萤石一次还原渣的生产实践

冯文甫 马富平 叶凡新 郭 健 郭志彬 范建英

(邢台钢铁有限责任公司, 邢台 054027)

**摘 要** AOD 生产不锈钢时还原期炉渣二元碱度在 2.0 以上时具有较高的熔点, 加入 15 kg/t 以上的萤石完成化渣。对 AOD 还原期化渣的机理进行分析, 试验在不同碱度下一次还原不加萤石的化渣效果。结果表明, 依靠低碱度进行一次还原化渣的工艺可行, 但需要增加二次还原, 即: AOD 一次还原炉渣碱度控制在 1.7, 在倒渣完毕补加石灰、萤石进行二次还原、脱硫, 来预防钢水过氧化造成钢包侵蚀引发的增碳问题; 同时, 为消除石灰增碳以及保持较好活性度, 二次补加石灰酌减控制在 2% ~ 4%。

**关键词** AOD 还原 萤石

## Production Practice of 0Cr13C Steel in 60 t AOD by Primary Reduction Slag without Adding Fluorite

Feng Wenfu, Ma Fuping, Ye Fanxin, Guo Jian, Guo Zhibin and Fan Jianying  
(Xingtai Iron & Steel Corp. Ltd, Xingtai 054027)

**Abstract** In the reduction period of AOD production stainless steel slag has a high melting point when the binary basicity is above 2.0, More than 15 kg/t fluorite was added to complete the slag melting. The mechanism of slag reduction in AOD was analyzed, and the effect of slag reduction without fluorite at different alkalinity was tested. The results show that, the results show that it is feasible to rely on the low-basicity technology for the primary reduction of slag, but the secondary reduction should be added, that is, the basicity of the primary reduction of AOD slag should be controlled at 1.7, and lime and fluorite should be added for the secondary reduction and desulfurization after slag pouring to prevent the carburization caused by ladle erosion caused by steel peroxidation. At the same time, in order to eliminate the carburization of lime and maintain good activity, the reduction of secondary adding lime was controlled at 2% ~ 4%.

**Material Index** AOD, Reduction, Fluorite

在 AOD (Argon Oxygen DeCarburization) 冶炼 0Cr13C 不锈钢过程中为实现脱碳保铬的顺利进行, 以及保持较高的 Cr 元素收得率、钢水脱氧、脱硫效果等, 一般控制还原期炉渣二元碱度在 2.0 ~ 2.2。但是, 在此范围内炉渣熔点高达 1600℃ 以上, 需要加入大量的萤石 (占石灰总量 20%, 吨钢消耗 15 ~ 20 kg) 进行化渣、还原, 渣料消耗的成本相对较高。同时, 采用萤石作为化渣剂, 也带来炉衬侵蚀严重、环境污染、资源浪费等一系列问题。

在理论上, 二元碱度在 1.0 ~ 2.5 区间随着炉渣碱度降低熔点也呈下降趋势, 低到一定程度上可以不借用化渣剂实现炉渣的熔化。但是对于 AOD 冶炼 0Cr13C 不锈钢来说, 一次还原渣碱度的降低不仅造成还原效果差、炉衬侵蚀严重, 继而引发脱硫效果差、钢包增碳严重等一系列生产工艺及质量问题, 同时也影响脱碳期的脱碳保铬效率。本文主要阐述 AOD 化渣的机理, 摸索出较为合适的低碱度还原渣操作工艺, 开发生产 0Cr13C 钢一次还原后不加萤石化渣的工艺, 以达到萤石消耗大幅度降低以及不影

响安全运行和产品质量的目的。

### 1 AOD 化渣的机理研究

#### 1.1 AOD 冶炼不锈钢简述

AOD 冶炼不锈钢过程中分为脱碳和还原两个阶段。在脱碳期, 主要任务是在吹氧脱碳过程中加入高碳铬铁、石灰等渣料, 通过提高过程温度、降低 CO 分压等方式尽可能减少 Cr 的氧化, 即实现“脱碳保铬”。在还原期, 通过加入硅铁、萤石等脱氧剂和化渣剂将脱碳期所氧化的 Cr、Fe、Mn 等还原到钢水中, 完成脱氧、脱硫、去除夹杂等任务<sup>[1]</sup>。如果还原期炉渣脱氧效果较差, 将增加出钢或 LF 处理过程中钢包侵蚀速度, 钢水增碳严重, 引发质量和生产问题<sup>[2]</sup>。

#### 1.2 AOD 还原期化渣机理

0Cr13C 钢 (表 1) 在 AOD 还原前, 炉渣组分以 CaO-SiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO-MgO 五元渣系为主, 如表 2 所示。采用 Factsage 热力学软件计算, 脱碳期炉渣组分 (%) 为 40 ~ 50CaO、10 ~ 15SiO<sub>2</sub>、5 ~ 10MgO、8 ~ 20Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、5 ~ 15FeO 的熔点高达 1 800 ℃ 以上。还原

期开始后随着硅铁的加入,以及侧吹良好的动力学条件搅拌共同作用下,促使炉渣进行脱氧反应,  $Cr_2O_3$ 、 $FeO$  等逐渐降低,炉渣组分进入以  $CaO$ - $SiO_2$ - $MgO$ - $Al_2O_3$  为主的四元渣系。为保证良好的脱氧能力,还原渣碱度控制在 2.0 ~ 2.2,但是在此范围内对应炉渣的熔点依然高达 1 600 °C 以上,在炼钢温度下炉渣的流动性较差,导致脱氧、脱硫能力下降。因此,还原期需要补加萤石降低炉渣熔点。一般补加萤石按石灰总量的 20% 计算,即炉渣中  $CaF_2$  比例达到 5% ~ 10%,对应炉渣的熔点在 1 400 ~ 1 500 °C (如图 1 所示)<sup>[3]</sup>,在炼钢温度下具有良好的流动性,还原反应能够顺利进行。

## 2 还原期不加萤石化渣工艺开发

### 2.1 试验方案

在  $CaO$ - $SiO_2$  二元碱度范围内,炉渣的熔点变化如表 3 所示。炉渣碱度在 1.5 时所对应的熔点较低,在实际生产过程中 AOD 的钢水温度在 1 550 °C 以上,满足炉渣熔化的热力学条件<sup>[4]</sup>。

按照一次还原后二元碱度为 1.5、1.6、1.7、

表 1 0Cr13C 钢化学成分/%

C	Si	Mn	P	S	Cr
≤0.003 0	≤1.00	≤1.00	≤0.025	≤0.010	12.00 ~ 14.00

表 2 AOD 各阶段炉渣组分/%

炉渣	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
脱碳渣	40 ~ 50	10 ~ 15	5 ~ 10	8 ~ 20	5 ~ 15	0	-
还原渣	45 ~ 55	20 ~ 25	5 ~ 10	<1	<1	5 ~ 10	3 ~ 10

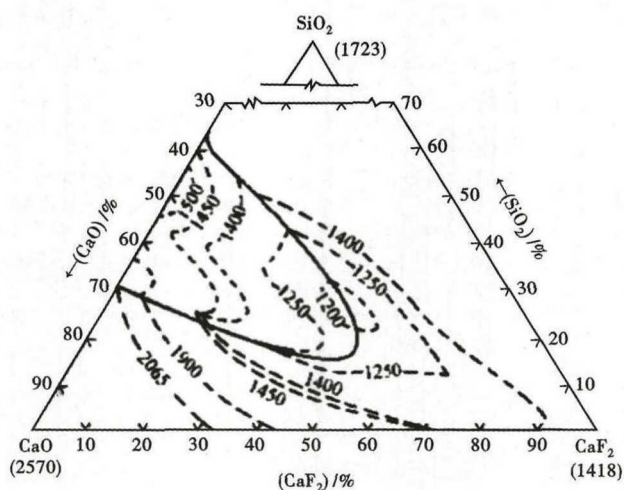


图 1  $CaO$ - $SiO_2$ - $CaF_2$  三元渣系相图

Fig. 1 Phase diagram of  $CaO$ - $SiO_2$ - $CaF_2$  ternary slag system

表 3 不同组合下炉渣的熔点

Table 3 Melting points of slag with different combinations

CaO 与 $SiO_2$ 组合	比值	熔点/°C
$3CaO \cdot SiO_2$	3	2 150
$2CaO \cdot SiO_2$	2	2 130
$3CaO \cdot 2SiO_2$	1.5	1 464
$CaO \cdot SiO_2$	1	1 550

表 4 试验炉次还原期炉渣碱度和组分

Table 4 Basicity and composition of slag in reduction period of test heats

炉次	碱度 (R)	组分/%						
		CaO	SiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	1.49	44.31	29.68	2.23	1.2	0.215	7.89	2.78
2	1.53	45.33	29.72	1.271	0.95	0.191	6.83	4.29
3	1.61	46.12	28.66	0.927	1	0.568	7.85	2.95
4	1.62	47.48	29.27	1.003	1	0.192	7.29	2.56
5	1.70	47.5	28	0.827	1.2	0.622	7.06	2.64
6	1.72	47.61	27.74	0.8	1.0	0.62	5.25	4.62
7	1.77	46.56	26.34	0.703	1	0.531	9.84	3.25
8	1.81	49.65	27.37	0.645	0.6	0.425	7.01	2.23

1.8,在生产 0Cr13C 钢种时各进行 2 炉试验取渣样进行检验,结果如表 4。

### 2.2 试验结果及讨论

在试验的 8 炉数据中,从化渣效果来看,碱度在 1.8 以下时基本上能够实现熔化,且具有较好的流动性,如图 2 所示。

从还原后炉渣组分来看,二元碱度在 1.7 时  $FeO$ 、 $Cr_2O_3$  含量处于相对较好水平,综合测算对 Cr 元素回收影响较小,同时反算 AOD 脱碳期碱度在 3.0,对脱碳期脱碳保铬影响较小<sup>[5]</sup>,选用还原后炉渣碱度为 1.7 的工艺。但是, $FeO + Cr_2O_3$  含量过程超过 1.0%,炉渣具有较强的氧化性,不仅引发钢包的侵蚀速率较快,AOD 出钢、LF 处理过程增碳不可控制,同时带来钢水脱氧效果较差不具备脱硫能

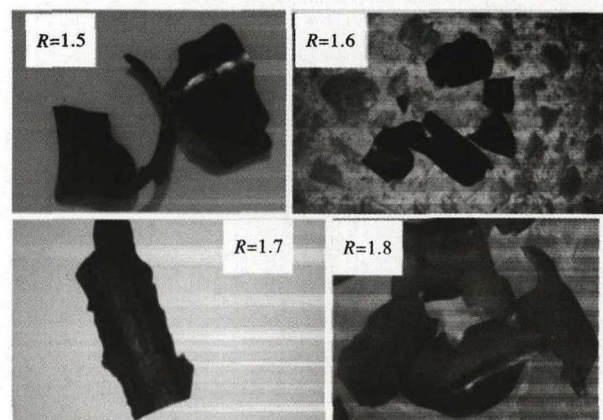


图 2 还原后炉渣形貌 (R 为二元碱度)

Fig. 2 Morphology of slag after reduction (R- binary slag basicity)

力,以及 AOD 炉衬侵蚀严重等问题。

### 2.3 二次还原方案

针对一次还原后碱度下降带来的问题,增加“一次还原进行倒渣,完毕后补加石灰提高碱度,以及补加萤石降低熔点”二次还原工艺。同时采用“炉渣护炉<sup>[6]</sup>”的工艺消除低碱度渣对炉衬的影响,确保 AOD 炉龄不受影响”。

#### 2.3.1 一次还原后剩渣量

一次还原后剩渣量直接影响二次石灰补加量。选取二元碱度  $R = 50\% / 29.4\% = 1.7$  为基础计算数据,式(1)转换为式(2),当二次还原碱度为 2.2 时,补加石灰量  $T_1$  为一次还原后剩渣量  $T_0$  的 0.17 倍,两者呈线性关系。

$$\frac{T_0 \times 50\% + T_1 \times 85\%}{T_0 \times 29.4\%} = 2.2 \quad (1)$$

$$T_1 = 0.17 \times T_0 \quad (2)$$

式中: $T_1$ - 二次石灰补加量/kg; $T_0$ - 一次还原后剩渣量/kg;50%、29.4%- 分别为一次还原后炉渣中 CaO、SiO<sub>2</sub> 含量;85%- 石灰有效 CaO 含量。

同时随着二元碱度的升高,炉渣熔点将再次回升至 1 600 °C 以上,需要补加萤石完成化渣。温度在 1 600 °C 以上,萤石的加入比例为石灰量的 25% ~ 30%,但是随着石灰补加量增多后钢水温度开始大幅度降低,炉渣流动性变差,萤石比例增加至 50% 以上,如图 3 所示。

#### 2.3.2 二次补加石灰指标要求

石灰中未完全分解的 CaCO<sub>3</sub> 将导致发生钢液增碳现象<sup>[7]</sup>,然而过烧石灰的活性度较差影响成渣速率。经过对比,石灰的酌减控制在 2% ~ 4% 时对增碳影响较小,同时活性度基本上能够达到 360

以上。

二次还原操作的最佳方案:将一次还原后剩余的渣量控制在 15 ~ 20 kg/t,二次补加石灰约 10 kg/t,萤石消耗 5 ~ 7 kg/t,同时需要选用酌减在 2% ~ 4% 以及活性度在 360 以上的石灰,预防增碳并提高成渣效果。

### 3 AOD 一次还原后不加萤石工艺效果对比

生产 0Cr13C 钢种时,采用一次还原不加萤石化渣工艺,虽然二次还原时仍需要加入部分萤石进行化渣,但是萤石消耗总量降低约 10 kg/t,同时由于一次还原后碱度降低,总石灰量降低约 7 kg/t,如表 5 所示。综合成本可降低约 30 元/t,经济效益显著。

表 5 原工艺和新工艺物料消耗对比

Table 5 Comparison of material consumption between original and new process

工艺	物料消耗/(kg·t <sup>-1</sup> )					萤石总量
	脱碳期石灰	还原期石灰	石灰总量	一次还原萤石	二次还原萤石	
原工艺	105	2	107	16	0	16
新工艺	90	10	100	0	6	6

### 4 结论

(1) AOD 一次还原炉渣碱度 1.7 时可实现炉渣的熔化,但是需要在倒渣完毕后补加石灰、萤石等进行二次还原、脱硫,消除对钢包增碳的影响。

(2) 一次还原后剩渣量对二次补加石灰、萤石有较大的影响。二次还原补加石灰酌减控制在 2% ~ 4%,可平衡增碳、活性度之间的矛盾。

#### 参考文献

- [1] 冯聚和. 铁水预处理与钢水炉外精炼[M]. 北京:冶金工业出版社,2006.
- [2] 俞海明. 转炉钢水的炉外精炼技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2011:44.
- [3] 师金红,陈庆伟,张昧茗,等. AOD 炉渣熔化温度的实验研究[J]. 中国冶金,2007,17(12):41-45.
- [4] 黄西祐. 钢铁冶金学[M]. 北京:冶金工业出版社,2005.
- [5] 池和冰,邵世杰,李冬刚. AOD 全铁水冶炼铁素体不锈钢工艺研究[J]. 宝钢技术,2008(2):16-20,30.
- [6] 冯文甫,马富平,赵世杰,等. AOD 炉利用脱碳渣进行溅渣护炉的工艺开发与应用[J]. 炼钢,2018,34(3):29-34.
- [7] 徐迎铁. VOD 冶炼超纯铁素体不锈钢数学模型[D]. 上海:上海交通大学,2008.

冯文甫(1984-),男,助理工程师,2016 年东北大学(本科)毕业,不锈钢冶炼技术研究。

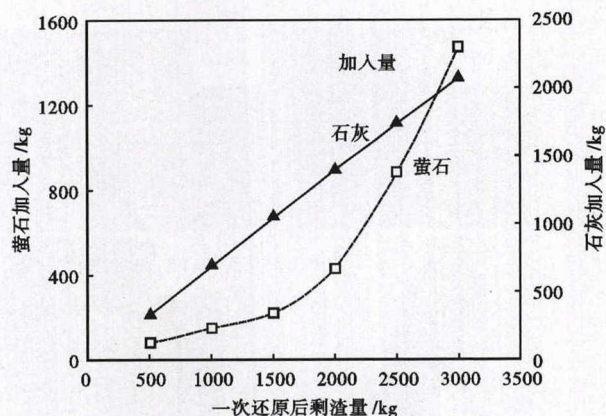


图 3 二次补加萤石、石灰与一次还原后剩渣量关系图

Fig. 3 Relationship between secondary adding fluorite, lime and amount of residue after primary reduction

收稿日期:2019-02-15