

## LF 精炼气瓶钢的 Si-Ca-Ba 合金脱氧工艺

及占林 王炳禄

(天津钢管集团有限公司炼钢厂, 天津 300301)

**摘 要** 天津钢管公司采用 150 t EAF-150 t LF(VD)-CC 工艺生产 30CrMo, 37Mn 等气瓶钢  $\Phi 210 \sim 310$  mm 圆管坯。生产统计数据表明, 在 LF 精炼时用  $Si \geq 50\%$ ,  $Ca \geq 12\%$ ,  $Ba \geq 13\%$  合金替代全用 Al 脱氧, 使  $[Al]$  从 0.026% 降至 0.006%, 钢中氧含量为  $25 \times 10^{-6}$ , 提高了钢的清洁度, 减少了轧制过程中钢材的裂纹废品。

**关键词** 气瓶钢 LF 精炼 Si-Ca-Ba 合金 脱氧

## Deoxidization Process for Gas Bottle Steel during Ladle Furnace Refining by Si-Ca-Ba Alloy Deoxidization

Ji Zhanlin and Wang Binglu

(Steelmaking Plant, Tianjin Pipe Group Corp, Tianjin 300301)

**Abstract** The  $\Phi 210 \sim 310$  mm round tube billet of gas bottle steels such as steel and steel 30CrMo and 37Mn are produced by 150 t EAF- 150 t LF(VD) - CC process at Tianjin Pipe Co. The production statistic data showed that during LF refining using  $\geq 50Si$ ,  $\geq 12Ca$ ,  $\geq 13Ba$  alloy to replace total aluminium deoxidization, the  $[Al]$  decreased to 0.006% from 0.026%, the oxygen content in steel was  $25 \times 10^{-6}$ , with the result that the cleanliness of steel increased and the clack rejection rate decreased obviously.

**Material Index** Gas Bottle Steel, LF Refining, Si-Ca-Ba Alloy

2004 年天津钢管公司炼钢厂共接收气瓶钢退废 908.029 t, 其中因 B 类夹杂 ( $Al_2O_3$ ) 原因导致的退废量占气瓶钢退废总量的 86.847%。由于钢中铝含量高, 钢中  $Al_2O_3$  夹杂多, 导致气瓶钢种在轧制过程中出现大量的裂纹废品。

使用钡合金脱氧, 是因为 Ba 元素有良好的物理特性。钡不仅具有较强的脱氧、脱硫能力, 而且钡能调节夹杂物密度、熔点, 改善钢液对夹杂物的粘附性和浸润性, 能使夹杂物易于排出, 其脱氧夹杂物尺寸均小于  $5 \mu m$ <sup>[1]</sup>, 且呈球形均匀分布, 因此, 最终很难找到含钡夹杂物。

本文对使用 Si-Ca-Ba 合金代替铝块对气瓶钢进行脱氧的工艺和对钢中夹杂物的优化进行了分析和研究。

### 1 电弧炉-精炼炉设备

天津钢管公司采用 150 t 电弧炉-LF(VD)-连铸机圆坯连铸生产工艺(表 1、表 2), 所生产成品管材规格大多为  $\Phi 232 \text{ mm} \times 5.4 \text{ m}$ 、 $\Phi 232 \text{ mm} \times 5.7 \text{ m}$ 、 $\Phi 219 \text{ mm} \times 7.0 \text{ m}$ 。

### 2 Si-Ca-Ba 合金脱氧工艺试验

#### 2.1 Si-Ca-Ba 复合合金脱氧的性能指标

天津钢管公司采用安阳金源冶金材料公司生产的 Si-Ca-Ba 合金, 其性能指标见表 3。

**表 1 天津钢管公司 150 t 电弧炉主要技术参数**  
Table 1 Main technical parameters of arc furnace at Tianjin Pipe

项目	参数
熔炼周期/min	54
日平均炉数	25
平均容量/t	150
炉料组成	废钢, 铁水, DRI
变压器容量/MVA	100
电极直径/mm	610
电耗/ $kWh \cdot t^{-1}$	338
电极消耗/ $kg \cdot t^{-1}$	1.35
氧耗/ $m^3 \cdot t^{-1}$	35
燃气耗/ $m^3 \cdot t^{-1}$	16.90
产量/ $万 t \cdot a^{-1}$	120
投产年份	1992

**表 2 天津钢管公司 LF 主要技术参数**  
Table 2 Main technical parameters of ladle furnace at Tianjin Pipe

项目	参数
额定处理量/t	150
钢包直径/mm	3 800
自由空间/mm	1 000 ~ 1 200
变压器容量/MVA	20
升温速度/ $^{\circ}C \cdot min^{-1}$	3 ~ 5

表 3 Si-Ca-Ba 复合合金主要成分/%  
Table 3 Main ingredient of Si-Ca-Ba alloy /%

Si	Ca	Ba	P	S
≥50	≥12	≥13	≤0.05	≤0.10

对 B 类夹杂物特别敏感的气瓶钢,如:37Mn、37Mn/1、37Mn/2、30CrMo、35CrMo、34CrMo4 等的脱氧工艺进行调整,采用了无铝脱氧工艺,即用 Si-Ca-Ba 合金进行脱氧。

## 2.2 试验工艺

### 2.2.1 电弧炉冶炼

冶炼工艺基本同现行常规生产工艺,但预脱氧制度不同,即在电弧炉出钢过程中加入 Si-Ca-Ba 对钢水进行预脱氧处理,禁止使用铝块和硅铝铁。出钢过程中加入 Si-Ca-Ba 500 kg/炉, Si-Ca-Ba 增硅量按平均 150 t 钢水增硅 0.16% 考虑;电弧炉注意防止钢水过氧化,控制好终点碳;确保出钢后到精炼的钢水温度不低于 1530 ℃。

### 2.2.2 LF 精炼

精炼炉(LF)尽量提前加入渣料脱硫,并配碳化硅造渣还原;对于成品 Al 含量有要求的气瓶钢,上连铸前按规定目标范围喂 Al 丝调整成分;对于成品 Al 含量无要求的气瓶钢,上连铸前按 0.010%~0.040% 喂入 Al 丝;精炼喂硅钙丝,30CrMo 钢为 300~350 m/炉,其它钢种为 200~300 m/炉,确保喂硅钙丝后弱搅拌时间 ≥5 min,杜绝后期强吹氩搅拌,VD 高真空处理时间 ≥8 min。并严格控制钢水精炼至连铸的温度。

### 2.2.3 连铸

天津钢管公司六流圆坯连铸机(表 4),正常浇铸时中间包液位控制在略低于高坝上沿;每次浇铸结束时的中间包液位不得低于 200 mm。单中间包连浇炉数不得超过 8 炉。对连铸最高拉速进行限定:Φ210 mm 管坯为 ≤2.20 m/min;Φ270 mm 为 ≤1.25 m/min;Φ310 mm 为 ≤0.90 m/min。

## 3 钢的纯净度

对钢水进行取样统计分析表明,对 30CrMo、34CrMo4/1 和 37Mn 等钢种使用 Si-Ca-Ba 合金的无铝脱氧工艺,大幅降低了钢中全 Al 含量,使 [Al] 从用铝脱氧的 0.026% 降至 0.006%,从而降低钢中铝系夹杂物的数量,净化了钢水。对精炼处理后的钢水进行取样定氧分析,钢水中全氧含量平均值为  $25 \times 10^{-6}$ ,达到了全铝脱氧工艺的水平。

表 4 天津钢管公司连铸机主要技术参数

Table 4 Main technical parameters of concaster at Tianjin Pipe

项目	参数
中间包容量/t	30
铸坯断面/mm	Φ210、Φ270、Φ310、Φ350
弧形半径/m	10.5、13.5、18.5、30.5
流数	6
流间距/mm	1 400~1 400~1 600~1 400~1 400
铸(拉)坯拉速/ $m \cdot min^{-1}$	2.4、1.5、1.05、0.85
铸坯定尺长度/m	6.0~9.6
冶金长度/m	31.5
矫直方式	多点
二次冷却方式	水冷
电磁搅拌(M-EMS)	有
铸流保护	有
连铸机平均作业率/%	83.8
连铸机连浇铸炉数	8
平均浇铸时间/min	50
生产能力/ $万 t \cdot a^{-1}$	120

2005 年(连铸机 4 流改 6 流)比较 2004 年 1~5 月的非金属夹杂物评级平均总级别下降了 0.10 (表 5)。其中,非金属夹杂物评级平均级别有变化的是:A(细)上升了 0.10;B(细)降低了 0.21;B(粗)上升了 0.005。从数据中可以看出钢中硫化物夹杂略有升高,因此操作时应注意降低钢中 S 含量和延长钢水的镇静时间。

表 5 全 Al 脱氧和 Si-Ca-Ba 合金脱氧的气瓶钢中非金属夹杂物评级平均级别

Table 5 Comparison of non-metallic inclusion rating in gas bottle steel deoxidized by total Al and by Si-Ca-Ba alloy

工艺	A		B		C		D		合计
	细	粗	细	粗	细	粗	细	粗	
全 Al 脱氧	1.03	0	0.32	0	0	0	1	0	2.35
Si-Ca-Ba 脱氧	1.13	0	0.11	0.005	0	0	1	0	2.25

## 4 结论

使用 Si-Ca-Ba 合金的无铝脱氧工艺,使钢中 [Al] 含量降低至 0.006%,从而降低钢中铝系夹杂物的数量,改变夹杂物的形态成球状;精炼处理后的钢水中全氧含量平均值达到  $25 \times 10^{-6}$ 。

### 参考文献

- 于桂荣,王忠英.钡合金脱氧对 CGr15 轴承钢夹杂物和疲劳寿命的影响.特殊钢,2003,24(5):49

及占林(1970-),男,工程师,1991 年天津大学冶金分校毕业,从事炼钢工艺研究和质量管理工作。

收稿日期:2006-01-23