

## 氩气保护对低合金钢电渣重熔锭质量的影响

常立忠 杨海森 李正邦  
(钢铁研究总院冶金工艺研究所,北京 100081)

**摘要** 试验了15 kg电渣炉在CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-SiO<sub>2</sub>渣系下,氩气流量25 L/min的全氩气保护和大气重熔低合金钢(电极含0.030% [Als]、0.29% [Si]、20 × 10<sup>-6</sup>T[O]) Al、Si的烧损和夹杂物的变化。结果表明,大气重熔时,电渣锭T[O]增加至36 × 10<sup>-6</sup>, [Als]、[Si]分别降至0.011%和0.17%;氩气保护重熔时,电渣锭T[O]为24 × 10<sup>-6</sup>, [Als]、[Si]分别为0.024%和0.28%;与大气重熔相比,氩气保护重熔锭中夹杂物尺寸小,分布均匀、弥散。

**关键词** 电渣重熔 氩气保护 易氧化元素 夹杂物

## Effect of Argon Atmosphere on Quality of Electroslag Remelting Ingot of Low Alloy Steel

Chang Lizhong, Yang Haisen and Li Zhengbang  
(Department of Metallurgical Technology, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

**Abstract** Loss of [Als] and [Si] and change of inclusions in low alloy steel (electrode- 0.030% [Als], 0.29% [Si], 20 × 10<sup>-6</sup>T[O]) remelted by a 15 kg electroslag remelting (ESR) furnace with CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-SiO<sub>2</sub> slag system in argon atmosphere with argon flow rate 25 L/min and in air atmosphere have been studied. Results showed that remelted in air atmosphere, T[O] of ESR ingot increased to 36 × 10<sup>-6</sup>, while [Als] and [Si] decreased respectively to 0.011% and 0.17%; remelted in argon atmosphere, T[O] of ESR ingot was 24 × 10<sup>-6</sup>, [Als] and [Si] were respectively 0.024% and 0.28%. As compared with that remelted in air atmosphere, the size of inclusions in ingot remelted in argon atmosphere was minor and the distribution of inclusions was more homogeneous and dispersed.

**Material Index** ESR, Argon Atmosphere, Active Metal, Inclusion

如何保护易氧化元素,尽可能减少其在重熔过程的烧损是电渣重熔的一个重要课题<sup>[1,2]</sup>。如果在生产过程中,对电渣炉进行密闭保护,则是一种比较理想的办法<sup>[3-5]</sup>。

### 1 实验设备

实验用15 kg电渣重熔炉变压器功率为125 kVA。固定式水冷铜制结晶器为Φ100 mm × 250 mm。

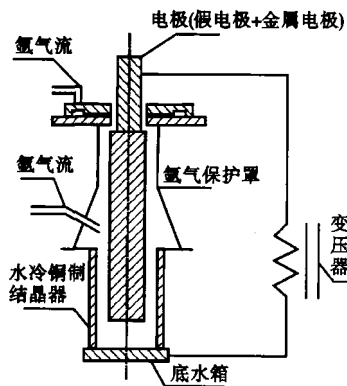


图1 氩气保护电渣重熔炉

Fig.1 Schematic of argon atmosphere ESR furnace

重熔过程中电流为1600~1800 A,电压为38~42 V,水温60~70℃。

全氩气保护电渣炉示意图见图1。不锈钢保护罩下部固定在结晶器上部,保护罩上部位于假电极与真电极的

焊接处上面,为了防止空气从假电极与保护罩之间的空隙中进入保护罩,在假电极与保护罩之间采用氩封装置。为了尽可能的避免空气氧化,氩气流量设为25 L/min。

### 2 实验过程

为了准确理解电渣重熔过程中不同气氛对易氧化元素的烧损情况,分别在空气中和氩气气氛下进行重熔实验。

实验渣系为CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-SiO<sub>2</sub>四元渣系。

实验用电极为低合金钢,其主要成分(%)为0.05~0.1C、0.2~0.4Si、0.3~0.5Mn、0.3~0.5Cr、0.3~0.5Mo。另外还含少量的Al和Ti。采用转炉

表1 钢中氧和易氧化元素含量:电极,空气中重熔,氩气保护重熔

Table 1 Content of oxygen and active metal in steel: electrode; remelted in air atmosphere; remelted in argon atmosphere

重熔气氛	T[O]/10 <sup>-6</sup>	Als/%	Ti/%	Si/%
电极	20	0.030	0.009	0.29
空气中重熔	36	0.011	0.009	0.17
氩气保护重熔	24	0.024	0.014	0.28

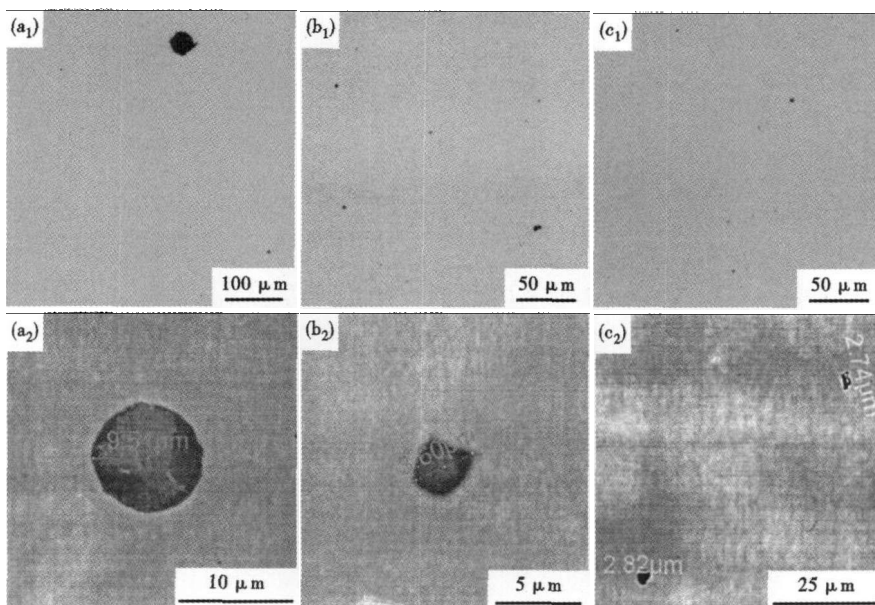


图 2 试验低合金钢中夹杂物形貌:( $a_1, a_2$ ) 电极;(  $b_1, b_2$ ) 空气中重熔电渣锭;(  $c_1, c_2$ ) 氩气保护重熔电渣锭;(  $a_1, b_1, c_1$ ) 光学显微镜, ( $a_2, b_2, c_2$ ) 扫描电镜

Fig. 2 Morphology of inclusions in test low alloy steel: ( $a_1, a_2$ ) electrode; ( $b_1, b_2$ ) ESR ingot remelted in air atmosphere; ( $c_1, c_2$ ) ESR ingot remelted in argon atmosphere; ( $a_1, b_1, c_1$ ) optical, ( $a_2, b_2, c_2$ ) SEM

从图 2 可以看出,经过电渣重熔以后(不论是空气中还是氩气中重熔),夹杂物尺寸明显减小,但数量增多;而氩气下重熔锭中的夹杂物尺寸比空气中重熔锭中的夹杂物尺寸更小。

在图象分析仪下观察夹杂物的面积、个数分布,如表 2。从表 2 看出,在氩气保护下重熔的铸锭中,夹杂物所占面积较少(0.036%),而空气中重熔则较多(0.038%);但在氩气下夹杂物颗粒数(713 个)反而比空气中多(568),这说明氩气下夹杂物的尺寸更小,其平均尺寸比空气中重熔的夹杂物尺寸小了 1/3。

#### 4 结论

(1) 在空气中重熔时, Al、Si 的烧损很大;在氩气保护下重熔时, Al 烧损较少, Si 几乎没有烧损;不论在空气中还是氩气下重熔, Ti 都没有烧损。

(2) 相比于空气中重熔,氩气下重熔铸锭中夹杂物面积变小,但颗粒数变多,分布均匀、弥散。

#### 参考文献

- 1 Bandyopadhyay T R, Krishna Rao P, Prabhu N. Effect of Inoculation during Electroslag Refining on Grain Size of 15CDV6 and Modified 15CDV6 Steels. *Ironmaking and Steelmaking*, 2006, 33(4): 331
- 2 Bandyopadhyay T R, Krishna Rao P, Prabhu N. Development of Ultra-high Strength Steel Through Electroslag Remelting with Inoculation. *Ironmaking and Steelmaking*, 2006, 33(4): 337
- 3 Ballantyne A S, Allvac. The Capabilities and Benefits of Argon Shrouding during Electroslag Remelting. *Medovar Memorial Symposium*, 2001: 113
- 4 Ryabtsev A. The Development of the Technology of High Quality Ingots Manufacturing From Metals with High-reaction Ability (Cr, Ti and oth) and Alloys on Their Base with Using of the Method of Electroslag Remelting Under "Active" Ca-Containing Fluxes. *Medovar Memorial Symposium*, 2001: 79
- 5 Alghisi D, Milano M, Paziienza L. The Electroslag Rapid Remelting Process under Protective Atmosphere of 145 mm Billets. *Medovar Memorial Symposium*, 2001: 97

常立忠(1977-),男,博士,特殊钢冶金技术和微合金化钢研究。

收稿日期:2009-02-15

冶炼,经 LF + VD 精炼,然后再进行连铸。在连铸坯上切下部分坯料再锻造成  $\Phi 50$  mm 的圆棒作电极用。

在电渣重熔之前,将电极的表面进行打磨,去掉氧化铁皮,以减少对实验结果的影响。实验采用冷启动法。在实验之前,炉渣在马弗炉中烘烤,烘烤温度 700 ~ 900  $^{\circ}\text{C}$ ,时间 10 h 左右。

#### 3 实验结果与分析

表 1 为在同一渣系下( $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2$ ),在空气和氩气中进行重熔后,电渣锭中易氧化元素的烧损情况。

从表 1 可以看出,在空气中重熔时, Si、Al 严重烧损,氧含量增高;在氩气保护下重熔时, Al 的烧损显著减少, Si 基本上没有烧损; Ti 的含量稍微增加(相对于电极),这是由于导电渣中含有  $\text{TiO}_2$  所致,这也说明当钢中含有适当的 Al 时,且 Ti 含量较低时,对 Ti 起到了保护作用, Ti 就不会被氧化。

表 2 氩气保护重熔和空气中重熔钢中夹杂物面积及个数分布图

Table 2 Distribution of number and area of inclusions in steel remelted in argon atmosphere and in air atmosphere

项目	氩气保护重熔	空气中重熔
夹杂物面积比/%	0.036	0.038
夹杂物颗粒数/个	713	568
单个夹杂物面积比/%	$5 \times 10^{-5}$	$6.7 \times 10^{-5}$