

## 氩气保护气氛对电渣重熔过程 1Cr18Ni9Ti 钢钛烧损的影响

邓鹏辉<sup>1</sup> 周立新<sup>2</sup> 潘明旭<sup>1</sup> 张洲<sup>1</sup>

(大冶特殊钢股份有限公司 1 炼钢事业部; 2 高品质特殊钢湖北省重点实验室, 黄石 435001)

**摘要** 进行常规大气条件 1.2 t 电渣炉和氩气保护气氛 5.0 t 电渣炉重熔 1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢 [/%: 0.05 ~ 0.09C, 17.13 ~ 18.24Cr, 9.73 ~ 10.6Ni, 5 × (C-0.02) ~ 0.80Ti] 的生产试验, 分析氩气保护气氛对钢中钛烧损的影响。结果表明, 在 70CaF<sub>2</sub>-30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 二元提纯渣配加 5.0% TiO<sub>2</sub> 的条件下, 常规大气条件 1.2 t 电渣重熔锭平均钛烧损率为 48.33%; 氩气保护气氛 5.0 t 电渣重熔锭平均钛烧损率为 2.61%; 同时 5.0 t 电渣炉重熔时除用氩气保护气氛外采用同钢种底垫固渣引燃, 钢锭底部涨 [C] 现象得到明显改善。

**关键词** 电渣重熔 固渣引燃 TiO<sub>2</sub> 氩气保护 钛烧损

## Effect of Argon Shielding Atmosphere on Burning Loss of Titanium in Steel 1Cr18Ni9Ti in Electro-Slag Remelting Process

Deng Penghui<sup>1</sup>, Zhou Lixin<sup>2</sup>, Pan Mingxu<sup>1</sup> and Zhang Zhou<sup>1</sup>

(1 Steelmaking Division, 2 Hubei Province Key Laboratory of High Quality Special Steel, Daye Special Steel Co Ltd, Huangshi 435001)

**Abstract** The pilot production of austenite stainless steel 1Cr18Ni9Ti [/%: 0.05 ~ 0.09C, 17.13 ~ 18.24Cr, 9.73 ~ 10.6Ni, 5 × (C-0.02) ~ 0.80Ti] remelting by 1.2 t electro-slag furnace in normal atmospheric gas and by 5.0 t electro-slag furnace in argon shielding atmosphere is carried out to analysis the effect of argon shielding atmosphere on titanium burning loss of titanium in steel in electro-slag remelting (ESR) process. Results show that with the condition of using 70CaF<sub>2</sub>-30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> binary purifying slag and adding 5.0% TiO<sub>2</sub>, for 1.2 t ESR ingot remelting in normal atmospheric gas the average titanium burning rate is 48.33%, and for 5.0 t ESR ingot remelting in argon shielding atmosphere the average titanium burning rate is 2.61%; while remelting in 5.0 t ESR furnace beside with argon shielding atmosphere, also with using same steel grade bottom pad and solid slag igniting the phenomenon of picking up carbon in bottom of ingot is obviously improved.

**Material Index** ESR, Solid Slag Igniting, TiO<sub>2</sub>, Argon Shielding Atmosphere, Titanium Burning Loss

### 1 试验装备及工艺

(1) 常规 1.2 t 电渣炉 (表 1) 重熔试验 (表 2, 表 3) 1Cr18Ni9Ti 钢的工艺流程: 20 t EBT + 10 t 中频炉混炼-20 t LF/VD 精炼-浇 Φ320 mm 铸棒 15 支-锯切-电渣重熔 4 支 (A、B、C、D) 1.2 t 锭。

(2) 5.0 t 氩气保护气氛电渣炉 (表 1) 重熔试验 (表 2, 表 3) 1Cr18Ni9Ti 钢的工艺流程: 20 t EBT + 10 t 中频炉混炼-20 t LF/VD 精炼-浇 Φ500 mm 铸棒 4 支-锯切-电渣重熔 4 支 (E、F、G、H) 5.0 t 锭。

### 2 试验结果及原因分析

#### 2.1 常规电渣炉试验

根据上述装备及工艺在常规电渣炉重熔 4 支 1.2 t 1Cr18Ni9Ti 电渣锭 (表 4), 采用相同的工艺供电制度, 钛质导电渣起弧, 石墨电极化渣, 液渣引燃, 重熔后对电渣锭底部、顶部取样进行分析 (图 1)。

1.2 t 常规电渣锭底部 Ti 平均烧损率为 49.40%, 电渣锭顶部平均烧损率为 47.25%, 电渣锭平均烧损率约为 48.33%, 钛烧损大, 处于成分合格边缘。电渣锭底部 C 不合格, 存在涨 C 现象, 多次取样分析, 影响电渣锭成材率。

表 1 1.2 t 常规电渣炉和 5.0 t 氩气保护气氛电渣炉技术参数  
Table 1 Technique parameters of 1.2 t normal atmospheric gas ESR furnace and 5.0 t argon shielding atmosphere ESR furnace

试验次数	设备工装	锭型/t	额定容量/kVA	一次电 压/V	二次电 压/V	额定电 流/A	结晶器尺寸/mm		
							直径		高度
							上口	下口	
1	常规电渣炉	1.2	1 600	6 300	25 ~ 85	18 800	410	450	1 450
2	氩气保护炉	5.0	2 000	6 300	25 ~ 80	25 000	640	680	2 500

表 2 电渣重熔试验工艺参数  
Table 2 Pilot ESR process parameters

设备工装	锭型/t	二元提纯渣/kg	引燃剂	TiO <sub>2</sub> /kg	引燃方式	控制方式	充填比
常规电渣炉	1.2	65	钛质导电渣	3.25	液渣引燃	功率控制	0.554
氩气保护炉	5.0	150	同钢种底垫	7.50	固渣引燃	匀熔速控制	0.574

表 3 试验二元提纯渣成分 / %  
Table 3 Analysis ingredient of binary purifying slag / %

CaF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	TiO <sub>2</sub>
69.18	29.98	0.31	0.01	0.006	0.014

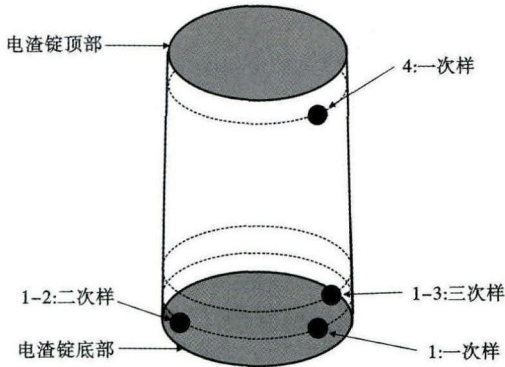


图 1 电渣锭取样示意图

Fig. 1 Schematics of ESR ingot sampling location

根据电渣重熔原理<sup>[1]</sup>,以及表 4 结果,常规大气电渣重熔时钛元素烧损较大。钛元素的烧损<sup>[2]</sup>主要是钛与氧以及部分氧化物发生反应生成钛的氧化物所致,电渣重熔过程中氧以及部分氧化物通过以下途径进入熔渣和钢液并与钛发生化学反应:(1)原始电极中溶解的氧及钢中不稳定氧化物在高温下与钛反应;(2)渣中不稳定氧化物如 FeO/MnO/SiO<sub>2</sub> 等所含的氧与钛发生反应;(3)重熔渣面上方电极坯与空气中的氧反应生成的氧化铁带入渣中与钛发生反应;(4)空气中的氧在渣池表面吸附,通过扩散与不稳定的变价氧化物传递氧;(5)渣液中与金属液之间的 Al、Ti 烧损。

影响 Ti 烧损的因素最大的是氧以及渣系配比,从氧的来源看,途径(1)中的氧含量主要由上道工序决定,另外途径(2)和(5)中渣系配比均一致,本次研究中均不予以考虑,主要考虑途径(3)和(4)中氧的传递,电渣工序内,氧<sup>[3,4]</sup>的来源主要是大气中的氧,若采用氩气将结晶器内的氧气排出,阻止氧的来源可以防止钛的氧化。

电渣重熔过程中钢锭底部涨 C 现象产生的主要原因是:

(1)常规电渣炉采用石墨电极化渣,液渣引燃,增加液渣内 C 含

量,重熔初期,随着熔滴的形成,熔滴经过渣洗,液渣内的 C 带入至金属熔池内,在水冷作用下迅速凝固,导致电渣锭底部涨 C。

(2)常规电渣炉采用铁板(碳素钢 0.26% C)做护锭板,化渣期间及重熔初期,护锭板中心部位熔化形成钢液,与自耗电电极熔化的钢液汇集形成初始金属熔池,在水冷作用下凝固,导致电渣锭底部涨 C。

## 2.2 氩气保护气氛电渣炉试验结果

通过重熔前充氩气数分钟,排出结晶器内空气,重熔全程通氩气,并且保持密封进行生产,减少空气进入结晶器中与电极和渣液发生反应,减少 Ti 的烧损。同时将传统的液渣引燃方式优化为固渣引燃方式,并在护锭板上方采用同钢种底垫起弧,改善电渣锭底部涨 C。

在氩气保护气氛电渣炉重熔 4 支 5.0 t 电渣锭,化学成分见表 5。采用相同的工艺供电制度,设定相同的氩气流量,母材端部锯切同钢种底垫,将其焊接在护锭板中心作为引弧剂,固渣引燃,重熔后对

表 4 1.2 t 常规大气条件下电渣重熔前后 1Cr18Ni9Ti 钢化学成分 / %  
Table 4 Analysis of steel 1Cr18Ni9Ti electrode and 1.2 t normal atmospheric gas ESR ingot before and after / %

电渣锭炉号	取样部位	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Ti
A	常规母材	0.06	1.32	0.27	0.018	0.014	17.34	10.10	0.545
	1(底部)	0.09	1.24	0.27	0.018	0.005	17.13	9.73	0.260
	1-2	0.07							0.260
B	4(顶部)	0.07		0.29		0.005			0.280
	1(底部)	0.08	1.27	0.27	0.018	0.005	17.22	9.95	0.290
	1-2	0.07							0.290
C	4(顶部)	0.06		0.28		0.005			0.300
	1(底部)	0.08	1.26	0.25	0.018	0.005	17.20	9.98	0.250
	1-2	0.08							0.270
D	1-3	0.07							0.270
	4(顶部)	0.07		0.27		0.005			0.270
	1(底部)	0.08	1.24	0.27	0.018	0.005	17.14	9.81	0.290
	1-2	0.07							0.290
	4(顶部)	0.07		0.30		0.005			0.300

表 5 5.0 t 氩气保护气氛条件下电渣重熔前后 1Cr18Ni9Ti 钢化学成分 / %  
Table 5 Analysis of steel 1Cr18Ni9Ti electrode and 5.0 t argon shielding atmosphere ESR ingot before and after / %

电渣锭炉号	取样部位	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Ti
E	氩气保护母材	0.050	1.34	0.43	0.017	0.006	17.71	10.0	0.72
	1(底部)	0.060	1.35	0.39	0.017	0.005	18.01	10.5	0.68
	4(顶部)	0.050		0.41		0.005			0.70
F	1(底部)	0.060	1.38	0.42	0.017	0.005	18.22	10.5	0.68
	4(顶部)	0.060		0.37		0.005			0.71
G	1(底部)	0.060	1.37	0.41	0.017	0.005	18.07	10.5	0.69
	4(顶部)	0.050		0.40		0.005			0.71
H	1(底部)	0.060	1.38	0.42	0.017	0.005	18.24	10.6	0.72
	4(顶部)	0.060		0.40		0.005			0.72

5.0 t 电渣锭底部、顶部取样进行分析。

电渣锭底部钛平均烧损率为 3.82%，电渣锭顶部平均烧损率为 1.39%，电渣锭平均烧损率约为 2.61%，电渣锭底部 C 成分合格且较稳定，涨 C 现象明显改善。

2.3 常规电渣重熔与氩气保护气氛重熔前后对比分析

底部 Ti 烧损量  $\Delta Ti_{底}$  = 母材 Ti 成分 - 重熔后电渣锭底部 Ti 成分；顶部 Ti 烧损量  $\Delta Ti_{顶}$  = 母材 Ti 成分 - 重熔后电渣锭顶部 Ti 成分；钢锭 Ti 烧损率

$$\Delta Ti = \frac{(\Delta Ti_{底} + \Delta Ti_{顶})}{2 \times \text{母材 Ti 成分}}$$

；底部涨 C 量  $\Delta C_{底}$  = 重熔后电渣锭底部 C 成分 - 母材 C 成分；具体 Ti 烧损量及涨 C 统计如表 6 所示。

(1) 常规电渣炉电渣锭底部 Ti 平均烧损率 49.40%，电渣锭顶部烧损 47.25%，电渣锭平均 Ti 烧损率 48.33%，钛烧损大；氩气保护炉钢锭底部 Ti 平均烧损率 3.82%，顶部平均烧损率 1.39%，电渣锭平均 Ti 烧损率约为 2.61%，极大的减少了 Ti 的

表 6 1.2 t 常规电渣锭与 5.0 t 氩气保护电渣锭 Ti 烧损及底部涨 C 情况统计/%

Table 6 Statistics of Ti burning loss and C picking up in bottom of 1.2 t conventional ESR ingot and 5.0 t argon shielding ingot / %

设备	锭型/t	炉号	$\Delta Ti_{底}$	$\Delta Ti_{顶}$	$\Delta C_{底}$
常规电渣炉	1.2	A	0.285	0.265	0.020
		B	0.255	0.245	0.015
		C	0.282	0.275	0.017
		D	0.255	0.245	0.015
氩气保护炉	5.0	E	0.04	0.02	0.01
		F	0.04	0.01	0.01
		G	0.03	0.01	0.01
		H	0	0	0.01

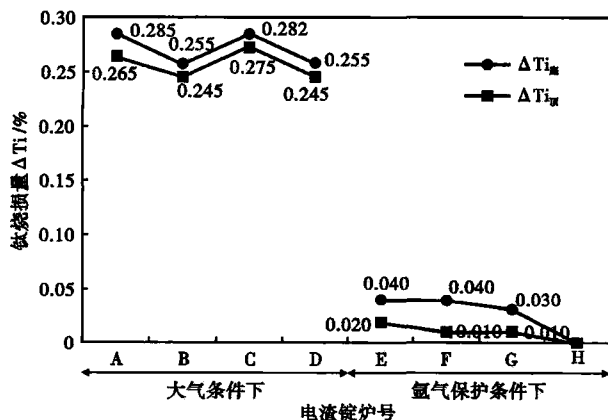


图 2 1.2 t 常规电渣锭与 5.0 t 氩气保护电渣锭 Ti 烧损情况对比

Fig. 2 Contrast between 1.2 t conventional electroslag ingot and 5.0 t argon electroslag ingot titanium burning loss

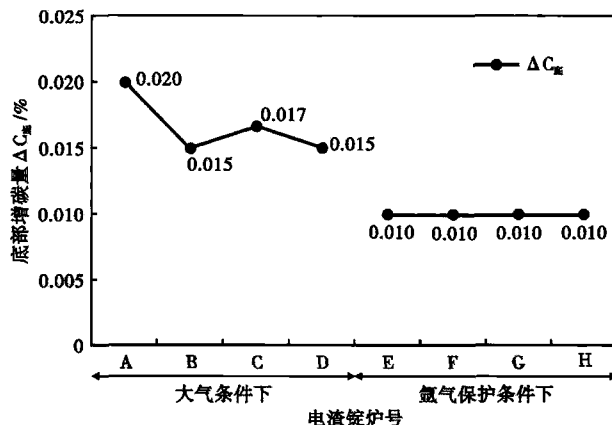


图 3 1.2 t 常规大气条件电渣锭与 5.0 t 氩气保护电渣锭底部涨 C 现象对比

Fig. 3 Contrast between 1.2 t conventional atmospheric conditions electroslag ingot and 5.0 t argon electroslag ingot bottom up C

烧损。具体对比情况如图 2 所示。

另外，本文对电渣锭重熔使用工艺参数未进一步研究，电流、电压<sup>[5]</sup>对重熔 1Cr18Ni9Ti 电渣钢表面及化学成分亦产生影响，今后将进一步进行试验研究。

(2) 常规电渣锭底部涨 C 现象相比用同钢种作底垫的气体保护电渣炉要明显，如图 3 所示。

3 结论

(1) 采用氩气保护电渣炉密封充氩控制，可以降低渣中不稳定氧化物对钛的烧损，减少大气中氧与钛发生氧化反应，极大程度的减少不锈钢 1Cr18Ni9Ti 中 Ti 的烧损。

(2) 采用氩气保护电渣炉在护锭板中心焊接同钢种底垫，并采用固渣引燃方式生产，可以改善含 Ti 不锈钢 1Cr18Ni9Ti 钢锭底部涨 C 现象。

参考文献

[1] 李正邦. 电渣冶金理论与实践[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2011: 17-18.  
 [2] 鲁友技. 浅析 1Cr18Ni9Ti 电渣重熔过程中 Ti 含量的变化[J]. 特钢技术, 2003(3): 14-16.  
 [3] 耿 鑫. 电渣重熔过程中氧含量的控制[J]. 材料与金属学报, 2009, 3(1): 16-20.  
 [4] 陈 青. 电渣重熔金属元素烧损原因中氧元素的追溯考虑[J]. 科技探索, 2010(12): 16-20, 90.  
 [5] 陈开忠. 电渣重熔 Φ550 mm 锭工艺问题探讨[J]. 特钢技术, 2001(4): 9-11.

邓鹏辉(1988-), 男, 工程师, 2011 年江西理工大学(本科)毕业, 特种冶炼工艺技术研究。E-mail: 904379123@qq.com