

## 纯铁电渣重熔的碳-硫控制

赵昱臻<sup>1,2</sup> 任学平<sup>1</sup> 包卫平<sup>1</sup> 王新宇<sup>2</sup> 苗晓<sup>2</sup>

(1 北京科技大学材料科学与工程学院,北京 100083; 2 太钢不锈钢股份有限公司技术中心,太原 030003)

**摘要** 分析了5 t 锭纯铁电渣重熔过程增碳和脱硫率低的原因。通过将~70% 萤石、~30% 氧化铝粉、3%~7% SiO<sub>2</sub>、0.05%~0.09% C 的原渣系改成65% 萤石、25% 氧化铝粉、10% 生石灰、≤1% SiO<sub>2</sub>、≤0.02% C 的新渣系,采用1 t 电渣锭并将结晶器填充比由30% 提高到45%、电渣重熔过程向渣中加铝粉等工艺措施,使电渣重熔纯铁的最大增C量由0.067% 降至0.001%,平均脱硫率由41%~46% 增至53.4%~78.0%,电渣锭碳、硫含量均≤0.003%,满足了超低碳-超低硫纯铁YT01B的质量要求。

**关键词** 电渣重熔 纯铁 碳、硫控制

## Control of Carbon and Sulfur Content in Electroslag Remelting Pure Iron

Zhao Yuzhen<sup>1,2</sup>, Ren Xueping<sup>1</sup>, Bao Weiping<sup>1</sup>, Wang Xinyu<sup>2</sup> and Miao Xiao<sup>2</sup>

(1 School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;  
2 Technical Center, Shanxi Taigang Stainless Steel Co Ltd, Taiyuan 030003)

**Abstract** The main reasons of 5 t ingot carbon-pickup and low desulphurization ratio for pure iron during electroslag remelting (ESR) process are analyzed. With the process measures including to replace original remelting slag (%) ~70 fluorite, ~30 alumina powder, 3~7SiO<sub>2</sub>, 0.05~0.09C by new remelting slag (%) 65 fluorite, 25 alumina powder, 10 limestone, ≤SiO<sub>2</sub>, ≤0.02C; adopting the process measures such as using 1 t ESR ingot with increasing mold packed ratio from 30% to 45%, and adding aluminum powder during electroslag remelting, the maximum carbon-pickup in ESR pure iron decreases to 0.001% from original 0.067%, the average desulphurization ratio increases to 53.4%~78% from original 41%~46% and the carbon and sulfur content in ESR ingot are all ≤0.003%, to meet the requirements of quality of ultra-low carbon-ultra-low sulfur pure iron YT01B.

**Material Index** Electroslag Remelting, Pure Iron, Control of Carbon and Sulfur Content

太钢于2001年开发出的原料纯铁YT01产品杂质元素含量低,用途广泛,是国内纯度最高的钢铁品种,但由于硫含量高于0.004%,不能满足一些要求硫含量低于0.003%的特殊用途,例如要求C、S成分分别小于0.003%的标准物质用纯铁。为了开发专用的超低碳-超低硫纯铁品种,从2007年开始采用原料纯铁YT01作原料再进行电渣重熔冶炼脱硫的生产工艺,生产标准物质用超低碳-超低硫纯铁新产品YT01B,在试制初期发现电渣重熔不能有效脱硫,且存在明显的钢锭增碳问题。

### 1 碳、硫控制问题

标准物质用超低碳、硫纯铁YT01B的成分要求见表1。选C≤0.002%、S=0.005%的YT01坯料作电极坯,电渣冶炼锭型为5.0 t 圆锭或1.0 t 圆锭。

第1批冶炼2支5 t 圆电渣锭,采用双

极冶炼,电渣锭C、S成分分析结果见表2。由表2可以看出电渣锭下部存在严重的增碳现象,最高增

表1 超低碳纯铁YT01和超低碳-超低硫纯铁YT01B的化学成分要求/%  
Table 1 Requirement of chemical composition of ultra low carbon pure iron YT01 and ultra low carbon-ultra low sulfur pure iron YT01B /%

原料纯铁	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Cu
YT01B	≤0.003	≤0.03	≤0.05	≤0.010	≤0.003 0	≤0.05	≤0.10	≤0.05	≤0.05
YT01水平	≤0.003	≤0.03	≤0.03	≤0.008	≤0.006 0	≤0.03	≤0.05	≤0.03	≤0.03

表2 电极和YT01纯铁5 t 电渣锭C、S含量,第1批试验  
Table 2 C and S content in electrode and in 5 t ESR ingot of pure iron YT01, first batch test

项目	取样位置	C/%	增碳量/%	S/%	平均脱硫率/%	平均S含量/%
电极		0.002 3	-	0.005 0	-	-
电渣锭 A	上	0.002 0	-0.000 3	0.004 8	18.0	0.004 1
	中	0.003 0	0.000 7	0.004 4		
	下	0.009 0	0.006 7	0.003 2		
电渣锭 B	上	0.002 2	-0.000 1	0.004 8	8.0	0.004 6
	中	0.003 1	0.000 8	0.003 7		
	下	0.004 3	0.002 0	0.005 2		

碳量可达 0.006 7% ; 而且脱硫效果差, 脱硫率较低, 达不到要求。

## 2 分析讨论

### 2.1 电渣冶炼纯铁钢锭增碳原因

通过试验发现, 提纯渣中碳含量高于 0.02% 时会出现电渣钢锭底部增碳现象。按照传统工艺生产时, 提纯渣中的碳含量约 0.07% , 而这些碳主要来自氧化铝粉(含 0.06% ~ 0.08% C)。再者, 若采用石墨电极熔化渣子, 则会加重钢锭的增碳。

另外还发现电渣钢锭增碳程度由下向上逐渐减轻, 这是由于冶炼过程中, 渣中的 C 部分已扩散到钢中, 部分则逐渐烧损。

### 2.2 电渣冶炼纯铁钢锭脱硫效果差的原因

O-S 提纯渣的质量是影响电渣过程脱硫的关键。提纯渣一般采用铁铝棒进行冶炼, 将萤石中带来的  $\text{SiO}_2$  还原, 若成品渣的  $\text{SiO}_2$  含量偏高 (> 3%), 则渣子的脱硫能力较差。曾对返回渣进行分析, 渣中不稳定氧化物 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  和  $\text{MnO}$ ) 总含量最高达到 20% , 渣子呈黑色, 此时电渣过程无脱硫效果且钢锭质量较差。

在电渣冶炼过程中, 渣子的氧化性和碱度随各种冶炼条件的变化而发生变化, 影响到脱硫效果, 特别是渣子的氧化性升高时脱硫效果明显变差。文献 [1] 认为, 渣中  $\text{FeO}$  和  $\text{MnO}$  含量高时会显著增加氧对熔渣的渗透率。渣相中的  $\text{FeO}$  含量连续增高, 会引起活性元素的烧损和重熔金属及渣组成的变化。

通过生产试验得出, 电渣冶炼过程中渣子氧化性升高的主要原因是, 电极坏表面残留氧化皮, 且因天气原因极易发生锈蚀, 在高温条件下电极表面氧化加重, 随着冶炼的进行, 电极表面的氧化物不断进入液渣, 造成渣子氧化性升高。

在试验中还发现, 大锭型双极串联工艺渣子的氧化性升高速度快; YT01 电极坏中含铝较低, 不利于控制渣子的氧化性。

因此认为, 电极的表面氧化皮及锈蚀, 以及冶炼过程中的电极表面高温氧化物是渣中不稳定氧化物的主要来源。

## 3 改进措施

### 3.1 防止增碳

为了解决增碳问题, 从电渣冶炼的原料和操作过程进行全面质量控制。主要措施: 提纯渣烘烤去碳处理, 使渣中碳含量由 0.07% 以上降到 0.02% 以下; 使用超低碳纯铁材质的引锭板, 使用超低碳纯铁

电极进行化渣操作, 禁止使用石墨电极进行化渣及冶炼操作, 从而防止提纯渣在冶炼过程增碳而造成钢锭增碳。

### 3.2 硫含量控制

电渣重熔有非常好的脱硫条件, 气化脱硫是大气条件下电渣重熔脱硫的主要方式<sup>[2]</sup>。熔渣脱硫与气化脱硫同时进行, 保证了熔渣的连续脱硫能力, 脱硫效果最佳的熔渣碱度为 9 ~ 10, 一般脱硫渣碱度大于 5<sup>[3,4]</sup>。电渣冶炼的脱硫效果与自耗电极硫含量、渣池温度、提纯渣量、渣子碱度和氧化性有关。冶炼过程温度高, 一般控制液渣为还原性和渣子的碱度大于 5 可获得理想的脱硫效果。

#### 3.2.1 调整渣系, 提高脱硫能力

设计采用了三元提纯渣代替二元提纯渣, 并调整了各组份的配比。调整前后各组份配比情况如表 3 所示, 原二元提纯渣系由萤石和氧化铝粉组成, 新设计的三元提纯渣系, 加入了 10% 的生石灰, 同时调整了萤石和氧化铝粉的配比。生石灰能够提高渣子的碱性, 有利于脱硫。提纯渣质量改进后, 其物理性能变化为: 碱度提高到 5 以上, 1 600 ~ 1 800 °C 时粘度变化不大, 不影响操作。

表 3 电渣重熔原渣系和新渣系的成分 / %

渣系	萤石	氧化铝粉	生石灰	$\text{SiO}_2$	C
原渣系	~70	~30	0	3 ~ 7	0.05 ~ 0.09
新渣系	65	25	10	<1	<0.02

#### 3.2.2 冶炼过程防止液渣氧化性升高

控制液渣氧化性是实现高效脱硫的关键, 主要措施是: 优化三元渣提纯操作, 控制渣中  $\text{SiO}_2$  含量低于 1% , 严格控制提纯渣中不稳定氧化物; 冶炼前渣中混入适量铝粉使冶炼前期渣子保持还原性; 采用较小锭型 1 t 圆锭结晶器进行电渣重熔生产, 结晶器填充比由 30% 提高到 45% ; 将电极坏酸洗或剥皮处理, 表面涂石灰糊; 电渣冶炼过程中每 5 min 向渣中投铝粉 20 g 对液渣脱氧。

## 4 改进效果

针对前期试验电渣冶炼增碳和脱硫方面的问题, 对第 2 批纯铁电渣重熔工艺进行了改进, 取得较好的效果。自耗电极 YT01 的硫含量为 0.005 0% , 碳含量为 0.001 8% , 成品钢锭的碳、硫控制效果如表 4 所示。

由表 4 可见, 本批试验 3 炉批电渣锭碳、硫含量

表 4 电极和 YT01B 纯铁 1 t 电渣锭的 C、S 含量,第 2 批试验  
Table 4 C and S content in electrode and in 1 t ESR ingot of pure iron YT01B, second batch test

项目	取样位置	碳的控制效果/%				硫的控制效果/%			
		碳含量	增碳	平均含量	平均增碳	硫含量	平均	脱硫率	平均脱硫
电极		0.001 8	-	-	-	0.005 0	-	-	-
电渣锭	1	上	0.002 9	0.001 1	0.002 3	0.000 5	0.002 2	55.3	0.002 8
		中	0.001 5	-0.000 3					
		下	0.002 4	0.000 6					
	2	上	0.002 6	0.000 8	0.002 3	0.000 5	0.002 3	53.4	0.002 7
		中	0.002 1	0.000 3					
		下	0.002 2	0.000 4					
	3	上	0.002 6	0.000 8	0.002 6	0.000 8	0.001 1	78.0	0.003 9
		中	0.002 4	0.000 6					
		下	0.002 8	0.001 0					

均小于 0.003%。各炉次头中尾最大增碳量为 0.001 1%,平均增碳为 0.000 5%~0.000 8%。电渣脱硫率达到 53.4%~78.0%,平均脱硫 0.002 7%~0.003 9%,YT01B 1 t 电渣锭中硫含量为 0.001 0%~0.002 5%,满足材料的使用要求。

## 5 结语

(1) 提纯渣碳含量高是电渣锭底部增碳的主要原因;提纯渣碱度低、不稳定氧化物含量高和冶炼过程中液渣氧化性升高,是导致纯铁电渣重熔脱硫率低的主要原因。

(2) 采用三元提纯渣系,优化提纯渣质量控制技术,提高了渣子碱度,降低渣中碳含量到 0.02% 以下,有利于电渣重熔冶炼的脱硫和防止增碳。当自耗电极的硫含量为 0.005 0%,碳含量为 0.001 8% 时,

电渣锭的碳和硫含量分别为 0.001 5%~0.002 9% 和 0.001 0%~0.002 5%,满足了生产超低碳-超低硫纯铁 YT01B 质量要求。

## 参考文献

- 1 魏季和,刘宗远. 电渣重熔用  $\text{CaF}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{CaF}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$  系熔渣传氧的研究. 金属学报,1994,30(8):B350
- 2 关启德. 高速钢电渣重熔过程脱硫模型. 河北冶金,1991(6):31
- 3 丁永昌,徐增启. 特种熔炼. 北京:冶金工业出版社,1995
- 4 储少军,刘海洪,郭照光. 电渣过程熔渣气态脱硫的研究. 化工冶金,1991,12(1):B87

赵昱臻(1970-),男,硕士研究生,高级工程师,1995 年东北大学毕业,纯铁产品研究与开发。

收稿日期:2009-08-12

## · 特殊钢信息 ·

# “先进钢铁材料技术国家工程研究中心”立项开展 特殊钢行业技术竞争力调研活动

“先进钢铁材料技术国家工程研究中心”在国家发展和改革委员会的领导下,一直致力于推动我国钢铁行业科技进步、大力倡导和促进高品质特殊钢技术发展。2007 年,由先进钢铁材料技术国家工程研究中心、国内主要特殊钢企业和中国金属学会特殊钢分会共同发起,成立了“技术面对面”特殊钢高层论坛。论坛每年举办一次活动,如 2007 年主题为“特殊钢生产工艺流程的优化”、2008 年主题为“高品质特殊钢技术”等。

通过论坛活动交流,与会成员商议,作为“技术面对面”特殊钢论坛的延伸,开展我国特殊钢行业的技术竞争力调研活动。重点针对国家重大装备需求,通过对国内特殊钢产品质量、生产装备、技术水平、研发能力等方面的调研,对我国特殊钢行业未来发展的工艺技术与产品结构发展提出建议,为国家制定政策和企业发展决策提供参考。

2009 年,先进钢铁材料技术国家工程研究中心正式立项

开展“我国特殊钢行业的技术竞争力”调研活动,项目组成员以“技术面对面”特殊钢论坛成员为主。制定调研提纲及调研计划后,至今已开展了两次特殊钢企业走访活动,走访企业包括:江苏沙钢集团淮钢特钢有限公司、江阴兴澄特种钢铁有限公司、西宁特殊钢股份有限公司。项目组人员听取企业发展现状和规划报告、参观生产车间,与企业负责人以及规划、研发和销售人员进行座谈,了解该单位的生产与技术发展情况。目前调研活动在“技术面对面”特殊钢论坛成员的大力支持下,进展十分顺利,已取得初步成效。近期项目组还将继续组织一些特殊钢企业的调研活动,同时收集企业的生产与技术数据。

我们期望通过精心的组织、广泛的参与、获取准确翔实的数据、深入的分析与思考,最终圆满完成调研的预期目标,为我国特殊钢行业技术发展提供可以借鉴的意见。

(刘 苏)