

DOI: 10.3724/SP.J.1224.2017.00040

“钢铁工业绿色转型：工艺技术与政策”专刊

新型节能环保渣系研究

李 博¹, 沈海军², 童英豪¹, 朱春恋¹

(1. 宝钢特钢有限公司特材事业部, 上海 200940; 2. 宝钢股份研究院, 上海 201900)

摘 要: 电渣重熔是生产特殊钢的一种重要的特种熔炼方法, 但由于广泛使用三七渣, 导致重熔电耗高, 并产生大量有害的氟化物气体, 严重污染环境的同时还损害操作人员健康, 在一定程度上制约了电渣钢的竞争力。本文以 H13 为研究对象, 通过采用新开发的节能渣系, 在电渣炉上进行了工业化试验。试验结果表明, 采用新渣系及其匹配工艺, 既改善了电渣锭的质量, 又降低电耗指标 300kWh/t 以上, 减少氟化物的含量, 降低对环境和员工健康的伤害, 产生了明显的社会 and 经济效益。

关键词: 渣系; 电渣重熔; 节能环保

中图分类号: TF4

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2017)01-0040-04

1 前言

作为国内钢铁企业的龙头, 宝钢的能源消耗位居高位, 承受着越来越大的社会压力。在宝钢所有的生产单元中, 电渣重熔又是耗能的大户。据估算, 常规炼钢的吨钢能耗约为 340kWh/t, 而电渣重熔的吨钢能耗则达 1400kWh/t 以上。根据 2008 年全国电渣学术年会所获得的数据, 国外电渣重熔的平均电耗为 900kWh/t, 我国电渣重熔的平均电耗为 1300~1600kWh/t。具体到企业, 针对产量最大、电耗最高的电渣重熔工模具钢 H13, 位于江苏丹阳的天工集团的平均电耗为 1200kWh/t 左右, 而宝钢特钢事业部特种冶金厂电渣分厂的平均电耗为 1600kWh/t 左右。统计宝钢特钢事业部特种冶金厂电渣分厂产量最大的 H13 的吨钢能耗数据: 2008 吨钢平均电耗为 1590kWh/t, 2009 年吨钢平均电耗为 1603kWh/t。

过高的电耗成本降低了电渣钢的竞争力, 其中一个关键因素就是三七渣的大规模使用。三七渣的电阻低, 因此电流流进渣池时转换成的渣阻热效率较低, 造成电能的无效损耗; 而且含有 70% 的 CaF_2 , 在重熔过程中产生大量有害的氟化物气体, 不仅有害操作人员健康, 而且严重污染环境。本研究的目的是采用新开发的渣系替代三七渣, 以达到降低重熔电耗, 并减少挥发的氟化物对环境和员工健康的伤害。

2 试验方案与试验结果

本实验的钢种 H13 为热作模具钢, 其成分如表 1 所示。

根据原理, 电渣重熔是通过渣阻热来实现熔化电极的, 这就决定了与普通的炼钢方式相比, 其电耗必然较高。影响电渣重熔电耗的参数包括: 渣系的选择、电极直径(填充比)、熔化速度、电

收稿日期: 2016-12-15; 修回日期: 2016-12-30

作者简介: 李 博 (1982-), 女, 硕士研究生, 电渣区域工程师, 主要从事电渣冶炼工艺技术与现场执行。E-mail:

libo19820527@126.com

沈海军 (1983-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事特种熔炼工艺研究。

童英豪 (1969-), 男, 学士学位, 电渣分厂厂长, 主要从事电渣管理。

朱春恋 (1983-), 男, 学士学位, 电渣区域工程师, 主要从事电渣冶炼工艺技术与现场执行。

表 1 试验钢种 H13 成分

化学成分	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	P	S
wt%	0.32-0.45	0.80-1.20	0.20-0.50	4.75-5.50	1.10-1.75	0.80-1.2	≤0.03	≤0.03

流和电压、设备的电损失、补缩工艺等^[1]。其中渣系是电渣重熔工艺最重要的参数，采用合适的渣系，不仅有效改善铸锭的结晶质量，更使电能流经渣池的时候转化成热能比例更高。同时配合合适的熔炼工艺，减少熔炼过程的热损失和电损失，在很大程度上降低电渣重熔的电耗^[2]。

2.1 实验室试验

根据经验公式计算，H13 的成分上限和成分下限的熔点分别为 1478℃、1494℃，平均熔点为 1486℃。根据电渣重熔渣系的熔点比重熔合金低 100-200℃ 的原则，所选择的渣系的熔点在 1286℃-1386℃。

根据 CaF₂-Al₂O₃-CaO 三元相图，图中所有低于 1500℃ 的等温线都在 100%CaF₂、70%CaF₂-

30%CaO、60%CaO-40%Al₂O₃、70%Al₂O₃-30%CaO、60%CaF₂-40%Al₂O₃ 所围的区域内，因此基础渣系都是在上述范围内进行选择^[3]。CaO 与 Al₂O₃ 比例为 1：1 时形成高熔点共晶化合物(C₁₂A₇)，可以有效避免重熔时渣系的成分变化，同时为有效降低渣系的电导率，需降低渣中 CaF₂ 的含量。采用 CaF₂：Al₂O₃：CaO=4：3：3 为基础渣系可以满足降低渣系电导率，防止电渣重熔过程渣系组元发生变化，而且这也是一种成熟的渣系。同时，为了减少电渣重熔过程的增氧，在四三三渣系的基础上添加少量 MgO，从而在渣池表面形成一层致密的薄膜，减轻重熔过程的传氧。为降低渣系的熔点，减少铸锭中脆性夹杂物 Al₂O₃ 的含量，渣系中还添加少量 SiO₂。针对 H13，新设计的渣系 BT-N1 组元见表 2。

表 2 电渣重熔渣系

渣系名称	渣系组元/%					其他
	CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	
ANF-6	70	30	—	—	—	现渣系
BT-N1	≤35	≤35	≤35	≤5	≤5	新渣系

通过宝钢研究院工艺所对新渣系的熔化特性、渣系黏度的检测，对新渣系密度、渣系光学碱度、渣系电导率的计算^[4]，结论如下：

- 1) 新渣系 BT-N1 的半球温度比 H13 的平均熔点低 154℃，符合 H13 钢的要求。
- 2) 新渣系的密度均超出原渣系 0.15g/cm³ 以上，因此，熔滴在渣池中的穿越时间延长，提高了精炼时间，有助于更好地去除夹杂物。另外，渣系的密度大，因此渣量少，有助于降低电渣重熔的电耗^[5]。
- 3) 新渣系的光学碱度值均超过原渣系，对于钢的深脱硫有很好的效果^[6]。
- 4) 新渣系的电导率均远远低于原渣系，BT-N1 的渣阻是 ANF-6 的 1.75 倍。显然，从渣阻对电渣

重熔的节电影响来看，在同样的工艺参数下，BT-N1 的电耗将会低于 ANF-6 渣系。

2.2 生产试验

为了保证电渣锭结晶质量，通过对 BT-N1 渣系下的基本重熔工艺参数（渣池深度、加渣量、电流及炉口电压）进行计算和论证，确定采用递减功率重熔。结合各炉座的控制特点，选定恒熔池的递减功率控制。在正常重熔期采用同时调电压、电流的方法保持渣阻恒定，克服恒电压、调电流法要求大渣量，且电流变化幅度过大的缺点。

按照设定的试验参数，共进行了三次生产试验，第一次在 33#和 37#两座炉子上进行，共 5 炉；第二次在老厂区所有 10 座炉子上进行，共 31 炉；

第三次在新厂区 95-98#炉上进行, 共 3 炉, 渣系配比 BT-N1。渣系形式为粉渣。

3 结果与讨论

采用新渣系、新工艺的试验过程供电曲线稳定, 铸锭表面质量良好, 如图 1 所示, 试验吨钢电耗与原工艺相比, 吨钢平均电耗降低 300kWh/t 以上, 具体结果如表 3 所示。

表 3 降低 H13 电渣重熔电耗的试验结果

		总电耗 (kWh)	吨钢平均电耗 (kWh/t)	熔炼时间 (min)
第一次	平均	2739	1191	428
	常规	3500	1522	600
第二次	平均	2763	1201	376
	常规	3560	1547	600
第三次	平均	18935	1370	1157
	常规	22972	1670	1271

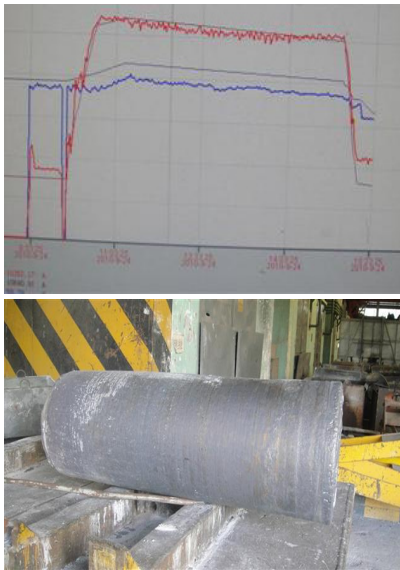


图 1 新渣系/工艺重熔的 H13 铸锭

4 结论

4.1 电渣锭质量情况

通过实验室和生产试验及对低倍组织(疏松、缩孔)的检验、夹杂物及碳化物分析、纯净度分析(N、O、H、S)、宏观及微观偏析分析, 结果表明新渣系有利于提高电渣锭质量。具体结论如下:

1) BT-N1 渣系的特性是满足 H13 的, 熔渣的熔点较 H13 低 154℃, 满足了对电渣锭表面质量和重熔的要求。

2) 采用新渣系及新工艺下电渣重熔过程稳定性非常好, 电流电压无异常波动。

3) 采用新渣系及新工艺, 电渣锭的质量优于目前采用的三七渣渣系。

4.2 电耗及环保情况

由三次生产试验结果可以看出, 采用 BT-N1 新渣系可以有效地降低热作模具钢 H13 电渣重熔电耗, 熔炼时间缩短了近两个小时。根据统计, 小锭型 (2.3t) 采用新渣系吨钢平均电耗约为 1200kWh/t, 而采用常规渣系吨钢平均电耗则达 1500kWh/t 以上, 吨钢电耗稳定减少 300kWh/t 以上; 大锭型 (13t) 采用新渣系吨钢平均电耗约为 1370kWh/t, 而采用常规渣系吨钢平均电耗则达 1670kWh/t 以上, 吨钢电耗稳定减少 300kWh/t。采用新渣系, 配以新工艺, 明显降低了冶炼电耗, 减少了生产成本。

经计算, 由于新渣系 BT-N1 中 CaF_2 的含量由原来的 70%降低至 40%, 有害物质氟的排放减少了 43%。氟化物的挥发含量减少, 无形中工作环境得以改善, 对员工健康的伤害亦有所降低。

参考文献

[1] 姜周华. 电渣冶金物理化学及传输现象[M], 沈阳: 东北大学出版社, 2000, 75-77, 103-107.
[2] 梁连科, 杨 怀, 郭仲文, 等. 炉渣物理性质对电渣重熔过程电耗的影响[J], 东北工学院学报, 1993, 14(2): 171.
[3] 梁连科, 岳桂菊, 郭仲文, 等. 电渣重熔用 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 三元无氟渣系的研究[J], 东北工学院学报, 1991, 12(3): 230-235.
[4] 梁连科, 郭仲文, 王方志, 等. 交流四探针法测定炉渣电导率的研究[J], 东北工学院学报, 1985, 6(3): 71.
[5] 梁连科, 杨 怀. 电渣重熔用渣的物理化学性质及其应用译文集[M], 沈阳, 东北大学出版社, 1989: 111-123.
[6] 梁连科. 关于炉渣的光学碱度问题[J], 辽宁冶金, 1995, (5): 24-27.

Research On a New Developed Power-reduction Slag System

Li Bo¹, Shen Haijun², Tong Yinghao¹, Zhu Chunlian¹

(1. *Special Steel Business Division of Baoshan Iron & Steel Co. Ltd., Shanghai 200940, China;*

2. *BaoShan Iron & Steel Co. Ltd. Research Institute, Shanghai 201900, China)*

Abstract: Electroslag remelting is a kind of important special smelting method of the production of special steel. However, high power consumption, and a large amount of harmful fluoride gas from the using of three-seven slag that not only pollutes the environment seriously, but also damages the health of operating staff, to a certain extent, limit the competition of ESR steel. In this paper, an industrial test with a new developed power-reduction slag system is applied in H13 electro-slag remelting at a ESR furnace. As a result of the test, the new slag system and the processing improve the quality of the ingots, reduce the power consumption of more than 300 kWh/t. By electro-slag remelting the damage of the environmental and staff's health are decreased and social and economic benefits are largely gotten.

Keywords: slag system; ESR; power-reduction