RH炉添加稀土铁合金的工艺生产实践*

李志成[1,2],徐少华[1],徐 涛[1],韩浩田[1],王进财[1],刘智康[1]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司稀土钢板材厂,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古自治区稀土钢产品研发企业重点实验室,内蒙古 包头 014010)

摘 要:: 文章研究了在LD－LF－RH－CC工艺路径下添加稀土铁合金的炼钢生产技术。研究结果表明,与不添加稀土的钢种相比,试制工艺生产的稀土钢氧含量要明显低于常规钢种。当中间包中的钢水S含量较低时,其夹杂物主要为2.0 μm以下的RE_2O_2S－CaO和RE_2O_2S、RE_2O_2S－Al_2O_3,是亚微米级含RE夹杂物。水口结瘤物质主要为钢中稀土脱氧、稀土的铝酸盐,稀土夹杂聚集粘附是结瘤的主要原因。

关键词: 稀土钢; 稀土铁合金; 水口结瘤; 夹杂物
中图分类号: TF713.6 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009－5438(2019)06－0014－04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.06.004

Technical and Production Practices on Adding Rare－earth Ferroalloy into RH Furnace

Li Zhi－cheng[1,2], *Xu Shao－hua*[1], *Xu Tao*[1], *Han Hao－tian*[1], *Wang Jin－cai*[1], *Liu Zhi－kang*[1]

(1. *Rare Earth Steel Plate Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Inner Mongolia Enterprise Key Laboratory of Rare Earth Steel Products Research & Development, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the steel－making production technology of adding rare－earth ferroalloy with the process route of LD－LF－RH－CC was studied. The results showed that the oxygen content of rare earth steel produced with trial production process was significantly lower than that of conventional steel. When the content of S in molten steel of tundish is lower, the inclusions are mainly RE_2O_2S－CaO, RE_2O_2S and RE_2O_2S－Al_2O_3 below 2.0 μm, which are submicron inclusions with rare earth. The nozzle clogging materials are mainly deoxidation products of rare earth and aluminate of rare earth in steel as well as the aggregation and adhesion of rare earth inclusions are the main causes of nodulation.

Key words: rare earth steel; rare－earth ferroalloy; nozzle clogging; inclusions

白云鄂博矿是世界著名的多金属共生矿,稀土矿分布率为73%～96%。稀土作为我国重要的战略资源,在钢铁领域的应用得到广泛的研究,大量研究表明,稀土通过在钢中净化钢液、改变夹杂物的性质、形态和分布、细化晶粒以及微合金化等作用可提高钢的各项力学性能,增加钢的耐腐蚀性,提高钢的抗疲劳性等[1]。

由于稀土元素和钢与渣中氧、硫有极强的亲和

收稿日期: 2019－09－16

作者简介: 李志成(1985－),男,内蒙古乌兰察布市人,工程师,现从事炉外精炼生产与工艺研究工作。

力,要保证稀土元素在钢中发挥良好、充分的作用,必须创造良好的加入条件,避免加入后被大量氧化,提高稀土加入后的收得率。稀土工业化添加有钢包吹氩压入法、连铸中间包喂稀土丝法、连铸结晶器喂稀土丝法、模铸钢锭模内吊挂法等方法,结合现场装备特点及工艺要求,因地制宜探索稀土钢炼钢生产工艺,本文尝试使用块状稀土铁合金投入钢液的加入工艺,考察了稀土加入后氧、硫含量的变化情况;稀土加入后钢中夹杂物变化等;稀土加入后水口堵塞情况及水口堵塞物的成分。

1　试验方法

1.1　稀土钢生产工艺概况

工业化试验加入的为稀土铁合金。利用 LD – LF – RH – CC 生产工艺流程,在 RH 炉破空前加入。

2　工业化试验过程与结果讨论

2.1　过程工艺控制

工业化试验钢钢种为工程机械用钢,过程工艺参数如表 1 所示。由表 1 可知,转炉终点一次命中,出钢为铝铁终脱氧,出钢温度 1 640 ~ 1 675 ℃之间,之后经过 LF 炉造渣处理,渣样中 TFe + MnO 含量均小于 1%(见表 2) ,符合白渣要求。钙处理软吹后到 RH 炉进行真空处理,稀土合金由真空合金料斗在破空前 3 min 加入,中包过热度控制在 25 ~ 33 ℃。

表 1　过程工艺参数

试样	转炉出钢温度/℃	铝铁/kg	点吹情况	LF 炉用钙线/m	LF 炉软吹时间/min	过热度/℃	加 RE 后真空时间/min
RE – 00	1 675	1 202	无	300	7	28	
RE – 01	1 640	1 305	无	300	7	33	3
RE – 02	1 658	1 129	无	300	8	29	3
RE – 03	1 663	1 198	无	300	7	25	3

表 2　LF 炉离位渣样(质量分数)　%

试样	S	Al_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	P_2O_5	TFe	SiO_2	MnO
RE – 01	0.26	31.25	0.55	59.45	5.33	0.063	0.53	9.68	0.33
RE – 02	0.29	30.01	0.48	59.05	6.27	0.033	0.63	9.18	0.28
RE – 03	0.41	33.12	0.81	61.73	7.59	0.017	0.49	8.02	0.29

利用 LD – LF – RH – CC 工艺流程,在 RH 炉破空前加入稀土铁合金,试验结果如下。由表 3 可知,加入稀土铁合金的成品全氧含量比常规钢种低 0.000 8% ~0.001 2%,最低值为 0.000 3%,平均值为 0.000 53%。由表 4 可知在 RH 炉破空前加入稀土铁合金可以降低钢中自由氧含量 0.000 04% ~ 0.000 015%;硫含量降低 0.000 3% ~0.00 8%,稀土脱硫率为 21.5% ~24.24%,进一步说明在 RH 炉添加稀土铁合金后,稀土在精炼 – 连铸(中间包) 中持续与含量极低 O 和 S 元素反应,从而提高钢液洁净度。

表 3　中包化学成分(质量分数)　%

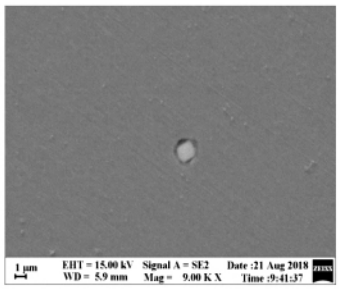
试样	C	Si	Mn	P	S	Al_t	Al_s	Nb	Ti	Ca	RE	铸坯 w([O])
RE – 00	0.07	0.030	1.53	0.013	0.002 0	0.042	0.040	0.026	0.026	0.001 0		0.001 5
RE – 01	0.06	0.019	1.52	0.015	0.000 5	0.035	0.033	0.025	0.027	0.000 1	0.004 3	0.000 6
RE – 02	0.08	0.030	1.51	0.013	0.001 8	0.040	0.038	0.025	0.026	0.000 1	0.005 7	0.000 7
RE – 03	0.071	0.037	1.52	0.013	0.001 5	0.043	0.042	0.027	0.030	0.000 1	0.004 8	0.000 3

表4 稀土合金加入后氧、硫含量变化 %

试样	加RE前氧活度	加RE后氧活度	加RE前S含量	加RE后S含量	稀土脱硫率
RE-01	0.000 43	0.000 28	0.003 3	0.002 5	24.24
RE-02	0.000 42	0.000 29	0.002 5	0.001 8	28.00
RE-03	0.000 32	0.000 28	0.001 9	0.001 5	21.50

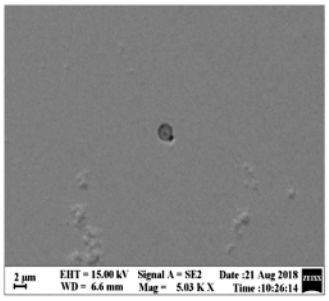
2.2 结晶器夹杂物检测结果

钢液加入RE元素后,有深度脱除钢液的O、S能力;有变性Al_2O_3、MnS夹杂物能力;并在钢液中形成3 μm以下、异质形核的含RE夹杂物颗粒。当中间包中的S含量较低时,其夹杂物主要为2.0 μm以下的RE_2O_2S-CaO和RE_2O_2S、$RE_2O_2S-Al_2O_3$。如图1、2、3所示。



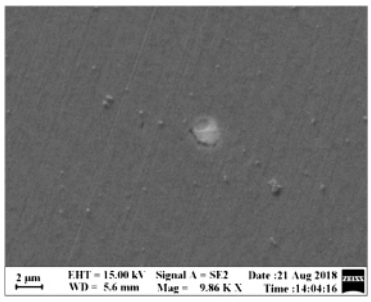
元素	wt%
O	8.33
S	8.08
Fe	5.61
La	28.29
Ce	49.63
RE_2O_2S	

图1 RE-01结晶器夹杂物(0.004 3%)



元素	wt%
O	25.78
Al	16.88
Ca	12.59
Fe	12.42
La	2.38
Ce	25.84
RE_2O_2S-Al_2O_3	

图2 RE-02结晶器夹杂物(0.005 7%)



元素	wt%
O	7.34
S	10.06
Ca	4.25
Fe	5.11
La	27.45
Ce	45.13
RE_2O_2S-CaO	

图3 RE-03结晶器夹杂物(0.004 8%)

2.3 水口结瘤情况及原因讨论

试验炉次都出现了不同程度的水口结瘤问题,由表1可知,可以排除由于过热度低造成的水口结瘤。按照整个浇铸过程塞棒提升的速率,大体可以分为两个阶段,第一阶段即刚刚开始浇铸稀土钢时期的一段时间,塞棒慢速的平缓提升;第二阶段及浇铸的后期,塞棒提升速较快。

(1)针对第一阶段提升原因。稀土钢在RH后期加入稀土合金,由于RE的活性极高,脱氧彻底,氧活度极低;稀土钢浇铸之前的前一炉钢种为铝镇静钢;在混浇阶段中包存在约50 t的上一炉高氧活度的钢水,稀土钢注入时发生以下反应。

$$[RE] + [O] = RE_2O_3$$

$$[RE] + Al_2O_3 = [Al] + RE_2O_3$$

生成$RE_2O_3 + Al_2O_3(AlREO_3)$夹杂物,进而粘附在水口;这与水口检测的含稀土物质成分一致。

(2)针对第二阶段提升原因。水口材质为铝碳质水口,钢流流经水口时在紧贴水口表面处钢流流速趋近于0(表面粘滞层),因此钢液与水口壁有充分的反应时间,钢中RE与铝碳质水口中Al_2O_3反应,生成$RE_2O_3 + Al_2O_3(AlREO_3)$;生成$RE_2O_3 + Al_2O_3(AlREO_3)$夹杂物,进而粘附在水口[2],导致水口迅速被堵塞;这与水口检测的含稀土物质成分一致。如图4所示。

2.4 水口结瘤的预防

(1)在炼钢工艺中,应尽量控制低氧和减少Al_2O_3夹杂物的产生,避免大量的稀土夹杂物聚集,从而造成水口结瘤。Al_2O_3夹杂物的数量取决于钢液中的氧、铝脱氧剂和稀土含量。因此,降低铝脱氧剂的加入量,减少稀土含量会减轻水口结瘤。有文献指出从改变夹杂物类型出发,矽钙完全代铝,终脱氧不加铝可以完全防止结瘤。这说明改变终脱氧剂的种类和加入的条件,以改变生成夹杂物的类型是防止结瘤的有效途径[2]。

(2)改变水口材质。试验结果表明铝碳质水口会与钢液中的稀土发生反应从而造成水口结瘤。所

以，改变水口材质可以促进稀土钢的稳定浇铸。相关研究表明，熔融石英水口不结瘤，在浇铸稀土钢时反而会扩大，对预防结瘤具有较好的效果[3]。

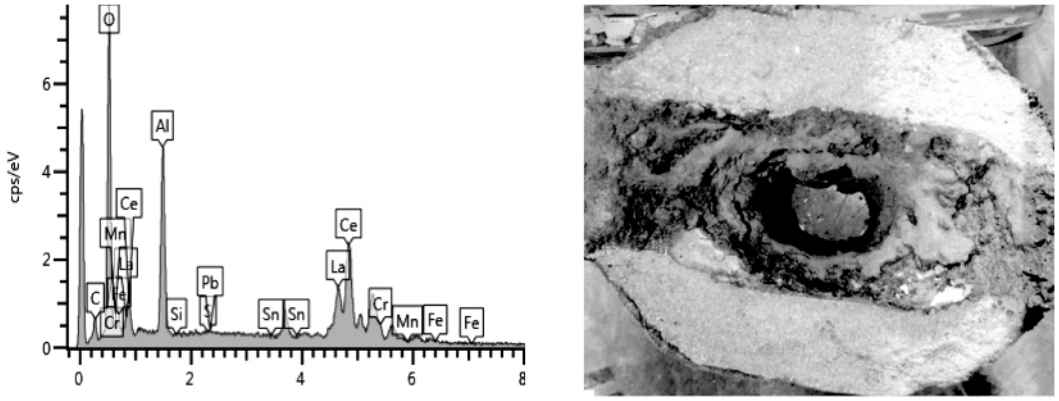


图 4　水口堵塞物

4　结论

(1) 与不添加稀土的钢种相比，试制工艺生产的稀土钢氧含量要明显低于常规钢种。

(2) 当中间包中的 S 含量较低时，其夹杂物主要为 2.0 μm 以下的 RE_2O_2S – CaO 和 RE_2O_2S、RE_2O_2S – Al_2O_3，是亚微米级含 RE 夹杂物。

(3) 水口结瘤物质主要为钢中稀土脱氧产物、稀土的铝酸盐，稀土夹杂聚集粘附是结瘤的主要原因。

参　考　文　献

[1] 李春龙. 稀土在钢中应用与研究新进展 [J]. 稀土，2013，34(3)：78 – 83.

[2] 赵所琛，沈福元，韩其勇，等. 含稀土钢水口结瘤机理的探讨 [J]. 钢铁，1982，17(5)：25 – 31.

[3] 余宗森，赵万智，谢逸凡，等. 加稀土钢水口结瘤原因分析 [J]. 北京钢铁学院学报，1981，(3)：113 – 116.

(上接第 9 页)

4　结束语

经过两年多的努力，包钢宽厚板生产线在生产经营、产品质量、降低成本、环境保护上都以绿色生产为目标，应用稀土处理技术，进行产品设计生产，成功开发了稀土耐磨钢系列产品。该产品具有高强度、高硬度、高淬透性、良好的焊接性能和优越的耐磨性能，投放市场 1 万余吨，净增利润显著，并顺利通过中国工信部绿色产品评价认证。

参　考　文　献

[1] 王新东，田京雷，宋程远. 大型钢铁企业绿色制造创新实践与展望 [J]. 钢铁 2018，53(2)：1 – 9.

[2] GB/T 24186—2009，工程机械用高强度耐磨钢板 [S].

[3] 崔风平，孙玮，刘彦春，等. 中厚板生产与质量控制 [M]. 北京：冶金工业出版社，2008.

[4] 王国栋，王昭东，刘振宇，等. 基于超快冷的控轧控冷装备技术的发展 [J]. 中国冶金，2016，26(10)：9 – 17.