# SPCC钢精炼渣与夹杂物相关性研究*

张怀军[1],韩春鹏[1],李志成[2],徐少华[2],靳 燕[1],刘 莉[1]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010;
2. 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)

**摘 要:** 针对SPCC钢的生产工艺情况,研究精炼渣与夹杂物相关性,分析精炼渣化学成分、$w(CaO)/w(Al_2O_3)$等对钢中夹杂物大小、形貌、类别等的影响。研究表明,精炼渣$w(CaO)/w(Al_2O_3)$为1.38~1.66时,钢中夹杂物分布较好,即大颗粒夹杂物比率较小,小颗粒夹杂物比率较大。

**关键词:** SPCC钢; 精炼渣; 夹杂物
**中图分类号:** TF703.6 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2019)05-0005-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.05.002

## Pertinence of Refining Slag and Inclusions of SPCC Steel

*Zhang Huai-jun*[1], *Han Chun-peng*[1], *Li Zhi-cheng*[2], *Xu Shao-hua*[2], *Jin Yan*[1], *Liu Li*[1]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Rare Earth Steel Plate Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

**Abstract:** The correlation of refining slag and inclusions was investigated as well as the influences of chemical composition and $w(CaO)/w(Al_2O_3)$ of refining slag on the size, morphology and category of inclusions in steel were analyzed aimed at the production technology of SPCC steel. The results showed that the distribution of inclusions in steel was better, proportion of large-grained inclusions was smaller and proportion of small-grained inclusions was greater when $w(CaO)/w(Al_2O_3)$ of refining slag was 1.38~1.66.

**Key words:** SPCC steel; refining slag; inclusions

随着高品质、高附加值钢开发,对产品质量和性能提出了越来越高的要求,对夹杂物的形态、大小和可变形也提出了很高要求。不同的钢种对夹杂物的性质、成分、数量、粒度和分布有不同的要求[1-2]。对于高品质钢而言,要求具备高的洁净度、韧性和抗疲劳等性能,对钢中非金属夹杂物的变形性能也有严格要求[3]。

因此,针对SPCC钢LF精炼过程中,开展精炼渣对夹杂物形态、分布影响的研究,结合炼钢工艺自身脱氧及合金化特点,研究开发适宜的精炼渣。

## 1 SPCC钢生产工艺流程

本试验SPCC钢碳含量为0.03%~0.05%,硅含量小于0.025%,具体化学成分见表1,在转炉出钢和LF采用铝铁进行脱氧。SPCC钢生产工艺流程为:高炉→KR脱硫→转炉→LF炉→板坯连铸→切割。

* 收稿日期:2019-04-10
作者简介:张怀军(1968-)男,河北省蛟河县人,硕士,正高级工程师,现从事炼钢工艺研究工作。

中国知网 https://www.cnki.net

表1 SPCC钢化学成分(质量分数) %

| 化学元素 | C | Si | Mn | P | S | Alt | Ca |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 放行上限 | 0.05 | 0.025 | 0.25 | 0.020 | 0.015 | 0.050 | 0.003 0 |
| 放行下限 | 0.03 | | 0.15 | | | 0.020 | 0.001 0 |

## 2 精炼渣的作用

LF精炼渣的基础渣一般选$CaO-SiO_2-Al_2O_3$系三元相图中低熔点位置的渣系。基础渣最重要的作用是控制渣的碱度,在精炼过程中更好地脱氧、脱硫。LF精炼渣的主要作用有[4-6]:维持钢水的温度与熔池的保温隔热;去除钢液中的氧和硫;提高热效率并保护钢包内衬;吸收夹杂物,净化钢液;阻隔空气,防止空气中气体被钢液吸入。

针对SPCC钢的生产情况,取样并分析精炼渣系的化学组成。表2为SPCC钢精炼渣成份分析结果。由表2可知,LF精炼就位时$w(CaO)/w(Al_2O_3)$平均为1.28,通过精炼工序造渣后,LF精炼离位时$w(CaO)/w(Al_2O_3)$平均为1.45;精炼渣中的$Al_2O_3$含量在LF就位和离位时基本相同,采用的是有铝脱氧,所以平均值为34.71%。SPCC钢LF精炼过程采用铝铁脱氧,造渣采用白灰和电石。

## 3 LF精炼渣系与夹杂物的相关性

### 3.1 LF精炼渣系化学成分组成

表2 SPCC钢精炼渣成分分析结果

| 序号 | 工位 | LF精炼渣系化学成分/% | | | | | | | | | $w(CaO)/w(Al_2O_3)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $Al_2O_3$ | CaO | FeO | MgO | MnO | $P_2O_5$ | S | $SiO_2$ | TFe | |
| 1 | 就位 | 33.87 | 46.27 | 2.74 | 5.04 | 1.600 | 0.143 | 0.134 | 4.44 | 2.65 | 1.37 |
| | 离位 | 34.87 | 48.11 | 0.49 | 5.61 | 0.100 | <0.050 | 0.477 | 3.34 | 0.5 | 1.38 |
| 2 | 就位 | 45.68 | 32.31 | 7.64 | 3.5 | 3.080 | 0.187 | 0.085 | 4.22 | 7.68 | 0.71 |
| | 离位 | 38.56 | 47.17 | 0.72 | 5.42 | 0.160 | <0.050 | 0.387 | 3.64 | 0.50 | 1.22 |
| 3 | 就位 | 40.40 | 34.22 | 7.50 | 3.95 | 3.080 | 0.382 | 0.134 | 4.30 | 7.68 | 0.85 |
| | 离位 | 39.73 | 42.85 | 1.48 | 5.01 | 0.430 | <0.050 | 0.264 | 3.22 | 1.40 | 1.08 |
| 4 | 就位 | 31.84 | 50.26 | 3.32 | 5.40 | 1.360 | 0.105 | 0.285 | 3.80 | 3.63 | 1.58 |
| | 离位 | 32.88 | 53.54 | 0.99 | 5.77 | 0.089 | <0.050 | 0.748 | 3.15 | 0.84 | 1.63 |
| 5 | 就位 | 32.66 | 53.91 | 1.08 | 5.50 | 0.332 | <0.050 | 0.472 | 3.04 | 1.12 | 1.65 |
| | 离位 | 31.32 | 54.79 | 1.08 | 5.39 | <0.100 | <0.050 | 0.719 | 2.46 | 1.12 | 1.75 |
| 6 | 就位 | 33.84 | 51.80 | 2.51 | 4.87 | 1.010 | 0.081 | 0.494 | 3.58 | 2.51 | 1.53 |
| | 离位 | 33.12 | 55.07 | 1.48 | 5.31 | 0.358 | <0.050 | 0.831 | 3.19 | 1.54 | 1.66 |

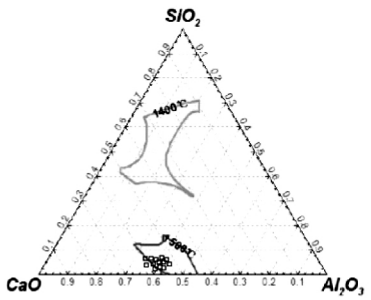



图1 $CaO-Al_2O_3-SiO_2$渣系等温曲线

图1所示为$CaO-Al_2O_3-SiO_2$渣系等温曲线[7]。由图1可知,$CaO-Al_2O_3-SiO_2$渣系分别在1 400 ℃和1 500 ℃存在两个液相区,在此称之为区域一和区域二,在当夹杂物成分控制在低熔点区域一时,由于该区域熔点低于1 400 ℃,但在实际控制过程中,需要非常长的精炼时间,而且与该区域平衡的溶解氧含量较高,在凝固过程中,析出的夹杂物成分、尺寸以及数量难以控制。

SPCC钢冶炼生产时,精炼渣的成分基本控制在

中国知网 https://www.cnki.net

区域二，其成分范围为：CaO：40% ~ 60%，$SiO_2$：0 ~ 20%，$Al_2O_3$：40% ~ 50%，该区域的熔点低于 1 500 ℃，该区域采用铝脱氧，区域平衡的溶解氧低，钢水的纯净度高，同时有利夹杂物在轧制过程中的变形，实现夹杂物的塑性化。

### 3.2　钢中夹杂物的大小、形态、分布研究

采用金相显微镜观察饼样中夹杂物的情况，包括大小、形貌、类别等，并采用扫描电镜观察典型夹杂物的组成。表 3 为 SPCC 钢中夹杂物情况。

表 3　SPCC 钢中夹杂物情况

| 序号 | 工位 | <10 μm /个 | 比例 /% | 10 ~ 20 μm /个 | 比例 /% | 20 ~ 50 μm /个 | 比例 /% | >50 μm /个 | 比例 /% | 合计 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 就位 | 10 | 47.6 | 8 | 38.1 | 1 | 4.8 | 2 | 9.5 | 21 |
| | 离位 | 9 | 47.4 | 7 | 36.8 | 2 | 10.5 | 1 | 5.3 | 19 |
| 2 | 就位 | 1 | 2.3 | 19 | 43.2 | 9 | 20.5 | 15 | 34.1 | 44 |
| | 离位 | 4 | 19.0 | 9 | 42.9 | 4 | 19.0 | 4 | 19.0 | 21 |
| 3 | 就位 | | | 20 | 34.5 | 26 | 44.8 | 12 | 20.7 | 58 |
| | 离位 | 6 | 40.0 | 5 | 33.3 | 2 | 13.3 | 2 | 13.3 | 15 |
| 4 | 就位 | 17 | 43.6 | 12 | 30.8 | 5 | 12.8 | 5 | 12.8 | 39 |
| | 离位 | 13 | 46.4 | 10 | 35.7 | 4 | 14.3 | 1 | 3.6 | 28 |
| 5 | 就位 | 24 | 57.1 | 13 | 31.0 | 4 | 9.5 | 1 | 2.4 | 42 |
| | 离位 | | | 8 | 47.1 | 7 | 41.2 | 2 | 11.8 | 17 |
| 6 | 就位 | 34 | 41.5 | 30 | 36.6 | 14 | 17.1 | 4 | 4.9 | 82 |
| | 离位 | 27 | 65.9 | 6 | 14.6 | 5 | 12.2 | 3 | 7.3 | 41 |

由表 3 可知，精炼就位时钢样中平均夹杂物数量为 51 个，精炼离位时钢样中平均夹杂物数量为 26 个，通过精炼工序夹杂物总数降低，大颗粒夹杂物和小颗粒夹杂物的数量都减少；精炼就位时钢样中 >50 μm 夹杂物的比例为 13.03%，精炼离位时钢样中 >50 μm 夹杂物的比例为 9.12%，大颗粒夹杂物的比例减少。钢种的夹杂物以 B 类夹杂物为主，还有大颗粒球状氧化物，最大颗粒夹杂物尺寸为 100 μm。

图 2 为 LF 就位时饼样中主要的夹杂物类型，图 3为 LF 离位时饼样中主要的夹杂物类型。由图可知，LF 就位时钢中的夹杂物有 2 类，第一类为 Al、Mg、Ca 的氧化物，第二类为 Al、Si 的氧化物，LF 离位时钢中的夹杂物有 2 类，第一类为 Ca、Al、Mg 的氧化物，第二类为硫化物与氧化物的复合夹杂物；LF 就位时钢中的夹杂物的形貌为球形、团簇形、条形等，LF 离位时钢中的夹杂物的形貌都为球形。

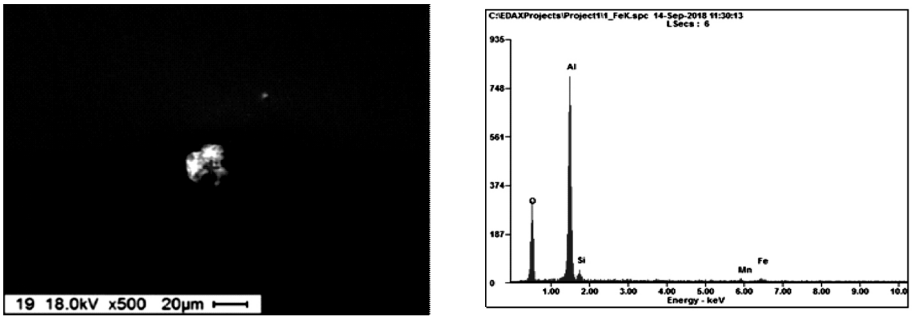



图 2　LF 就位时饼样中主要的夹杂物类型

中国知网　https://www.cnki.net

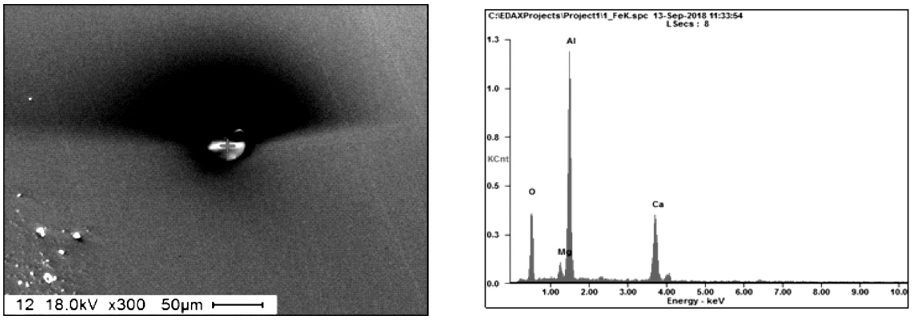



图3 LF离位时饼样中主要的夹杂物类型

3.3 精炼渣对钢中夹杂物的影响

针对SPCC钢的生产情况，对比分析LF离位精炼渣的碱度、氧化性等对钢中夹杂物的影响。

图4为不同精炼渣系 $w(CaO)/w(Al_2O_3)$ 与夹杂物尺寸的变化关系。由图4可知，当精炼离位渣 $w(CaO)/w(Al_2O_3)$ 为1.38～1.66时，钢中夹杂物分布较好，即大颗粒夹杂物比率较小，小颗粒夹杂物比率较大。

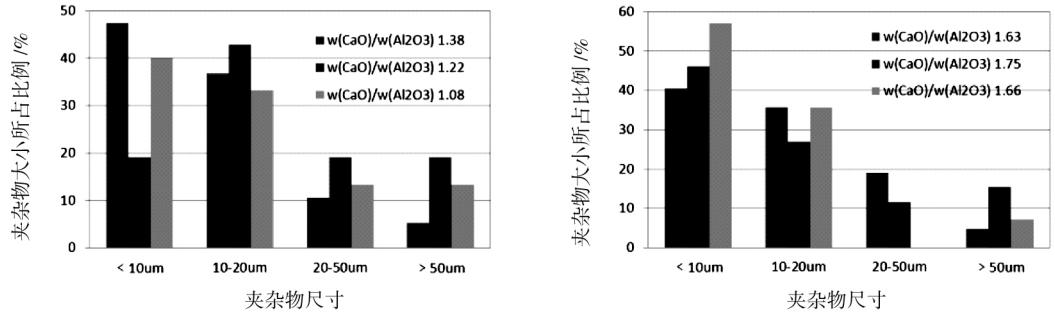



图4 不同精炼渣系 $w(CaO)/w(Al_2O_3)$ 与夹杂物尺寸的变化关系

## 4 结论

(1) 针对SPCC钢，精炼渣 $w(CaO)/w(Al_2O_3)$ 为1.38～1.66时，钢中夹杂物分布较好，即大颗粒夹杂物比率较小，小颗粒夹杂物比率较大。

(2) 针对SPCC钢，通过精炼造渣后，钢中夹杂物的形貌由就位时的球形、团簇形、条形等变为离位时的球形。

## 参 考 文 献

[1] 周业连，何奇，邓志银，等. 201 t BOF－RH－板坯CC流程钢包顶渣改质处理对超低碳钢夹杂物的影响[J]. 特殊钢，2015，36(3)：38－42.

[2] 干勇，等. 炼钢－连铸新技术800问[M]. 北京：冶金工业出版社，2001.

[3] 尹宽，王勃超，韩亮，等. SPHC钢LF精炼过程洁净度研究[J]. 河北冶金，2017，(263)：19－21.

[4] 王谦，何生平. 低碳含铝钢LF炉精炼工艺及精炼渣的优化[J]. 北京科技大学学报，2007，29(1)：14－17.

[5] 廖航，朱利斌，杨树峰，等. 低碳低硅SPHC钢精炼渣优化研究[J]. 工程科学学报，2016，(36)：175－180.

[6] 桂凌峰. 超低碳钢保护渣精炼渣性能的研究[D]. 贵阳：贵州大学，2015.

[7] 张丹阳. SPHC钢中夹杂物控制的热力学分析与实验研究[D]. 重庆：重庆大学，2016.

中国知网 https://www.cnki.net