

# Study on Inclusions in Si Killed Steel in Different Smelting Processes

Huishu Zhang<sup>1</sup>, Lina Sun<sup>1</sup>, Dongping Zhan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Metallurgy, Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi Liaoning

<sup>2</sup>School of Metallurgy, Northeastern University, Shenyang Liaoning

Email: huishuzhang@163.com

Received: Nov. 24<sup>th</sup>, 2017; accepted: Dec. 8<sup>th</sup>, 2017; published: Dec. 15<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

In this paper, Si killed steel Q235B is taken as the research object, and CaO-SiO<sub>2</sub> slag washing material is adopted to develop a new smelting process of LD-slag washing-CC smelting Si killed steel. The inclusions were observed and the composition was analyzed by metallographic microscope, scanning electron microscope and energy spectrum. It can be seen that the slag washing process can reach the level of smelting steel in the original LF process in the size, quantity, appearance and composition of the inclusions. So slag washing process can substitute for LF process to produce Q235B Si killed steel. It can meet the enterprise requirement of saving cost, saving time and increasing output.

## Keywords

Si Killed Steel, LF, Slag Washing Process, Non-Metallic Inclusion

---

# 不同冶炼工艺下硅镇静钢中夹杂物的研究

张慧书<sup>1</sup>, 孙丽娜<sup>1</sup>, 战东平<sup>2</sup>

<sup>1</sup>辽宁科技学院冶金工程学院, 辽宁 本溪

<sup>2</sup>东北大学冶金学院, 辽宁 沈阳

Email: huishuzhang@163.com

收稿日期: 2017年11月24日; 录用日期: 2017年12月8日; 发布日期: 2017年12月15日

---

## 摘 要

本文以某厂硅镇静钢Q235B为研究对象, 采用CaO-SiO<sub>2</sub>系渣洗料, 开发LD-渣洗-CC冶炼硅镇静钢的冶炼

新工艺。通过金相显微镜、扫描电镜和能谱等对夹杂物的观察和成分分析,可以看出渣洗工艺在夹杂物的大小、数量、形貌及成分上可以达到原LF工艺冶炼钢水平,可以替代LF工艺生产Q235B硅镇静钢,满足节约成本、节省时间、提高产量的企业要求。

## 关键词

硅镇静钢, LF, 渣洗, 夹杂物

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

目前较常规的硅镇静钢冶炼工艺为LD(转炉)-LF(钢包精炼炉)-CC(连铸)[1]。其中LF造渣技术能够很好的完成脱氧、脱硫以及去除钢中夹杂物、降低有害气体、调整钢中成分和温度任务,但同时LF冶炼手段损耗了大量人力和能源,投入的成本过高[2][3][4]。因此,需开发一种不经LF直接进行连铸浇注的冶炼工艺,以便很好的实现企业节能及节约成本。

为探索研究这一问题,生产出低成本高质量的钢种,本文以某厂硅镇静钢Q235B为研究对象,采用CaO-SiO<sub>2</sub>系渣洗料[5],开发LD-渣洗-CC冶炼硅镇静钢的冶炼新工艺,通过新工艺与原工艺生产过程中钢液的显微夹杂物大小、数量、形貌、成分进行对比研究,给予企业生产出更高洁净度钢种提出理论性指导。

## 2. 实验研究

### 2.1. 工艺介绍

实验中所研究钢种为Q235B。原工艺流程:LD-LF-软吹氩(8分钟)-CC,LF精炼渣成分如表1所示。新工艺流程为:LD-渣洗-软吹氩(8分钟)-CC,渣洗料在初炼炉出钢期间随钢流一同加入到钢包中,加入量为:3~6 kg/t钢,选用的渣洗料的成分如表2所示。

### 2.2. 实验步骤

#### 2.2.1. 取样方案

- ① 经渣洗工艺的软吹前、软吹后、中包、铸坯等工位分别取样,相应编号为ZX-1、ZX-2、ZX-3、ZX-4。
- ② 经LF工艺的软吹前、软吹后、中包、铸坯等工位分别取样,相应编号为LF-1、LF-2、LF-3、LF-4。渣洗工艺共实验5炉,本文以其中一炉为例进行比较分析。

#### 2.2.2. 样品制备

将取来的样品用线切割切成10 mm × 10 mm × 10 mm的钢样,然后进行镶嵌、磨制、抛光。

#### 2.2.3. 分析方法

应用蔡司Axio Imager M2m金相显微镜进行夹杂物数量、大小统计,蔡司EVO 18扫描电子显微镜和牛津能谱仪进行夹杂物的形状及成分的分析。

**Table 1.** Composition of LF refining slag**表 1.** LF 精炼渣成分

成分	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	FeO + MnO	S、P
范围	40%~50%	10%~20%	20%~30%	3%~8%	<1.5%	<0.05%

**Table 2.** Composition of slag washing material**表 2.** 渣洗料成分

成分	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	FeO + MnO	S、P
范围	35%~50%	20%~35%	5%~15%	<5%	<1.5%	<0.05%

### 3. 试验结果及分析

#### 3.1. 金相结果

将磨制抛光后的试样，放在金相显微镜 500 倍的物镜下观察，其成像为图 1 所示。为了实验统计的准确性，在钢样中随机挑选一区域，以  $4 \times 4$  矩阵形式进行连续观察，然后利用软件再对所取得的 16 个成像进行钢样的夹杂物的统计和整理。

##### 1) 夹杂物大小分布

两不同工艺中铸坯样夹杂物大小分布比例情况，由图 2 所示。两工艺中夹杂物大小范围在  $0 < d \leq 1 \mu\text{m}$  所占比例最大，分别占 24.7% 和 28.7%；夹杂物尺寸所占比例最小的为  $5 \mu\text{m} < d$ ，分别占总数的比例 7.3% 和 8.8%，可以看出二者的大小分布比例有一定的不同，但从整体比例的趋势上可以看出两者较为相似，渣洗工艺过程在夹杂物大小比例方面与 LF 工艺相当。

##### 2) 夹杂物数量分布

两工艺中不同工序的夹杂物数量如图 3 所示，LF-1 中夹杂物为 1056 个/ $\mu\text{m}^2$ ，ZX-1 中为 935 个/ $\mu\text{m}^2$ ，原工艺比新工艺多 121 个/ $\mu\text{m}^2$ ，这表明渣洗与 LF 精炼相比也能很好的去除夹杂物。

而且还可以看出经过软吹后，两工艺的夹杂物均有明显下降，但在中包中的数量有所上升，分析原因可能是由于钢流强烈的冲击力，中包的覆盖剂卷入钢中，造成钢水中夹杂物数量的升高，并且钢水从钢包到中间包期间，造成钢液被二次氧化。在铸坯工序中的夹杂物数量都有所下降，LF-4 的夹杂物个数为 745 个/ $\mu\text{m}^2$ ，ZX-4 的夹杂物个数为 519 个/ $\mu\text{m}^2$ ，LF 工艺比渣洗工艺多 226 个/ $\mu\text{m}^2$ ，可以看出渣洗工艺可以较好地去除夹杂物。

#### 3.2. 扫描电镜结果

经扫描电镜观察和能谱仪成分分析，渣洗工艺的铸坯夹杂物形貌及成分如图 4 所示，LF 工艺的铸坯夹杂物形貌及成分如图 5 所示。

渣洗工艺铸坯夹杂物主要以近球形的含 SiO<sub>2</sub> 复合夹杂为主，如 SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MnS、SiO<sub>2</sub>-MnO、SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-MnO 等复合夹杂，其中复合夹杂中 SiO<sub>2</sub> 含量最高，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等含量较少。LF 工艺铸坯夹杂物主要为 SiO<sub>2</sub>-MnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MnS、SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-MnO 复合夹杂物。从复合夹杂的成分分析来看，复合夹杂中仍以 SiO<sub>2</sub> 含量最高，但 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 所占含量比渣洗工艺的要高。由此可见渣洗工艺与 LF 工艺相比，所用渣洗料具有较好的吸附夹杂物作用。

#### 3.3. 钢的成分分析

渣洗工艺与原 LF 工艺的具体成品成分如表 3 所示。表 3 中列出了 5 炉渣洗工艺和 4 炉 LF 工艺冶炼

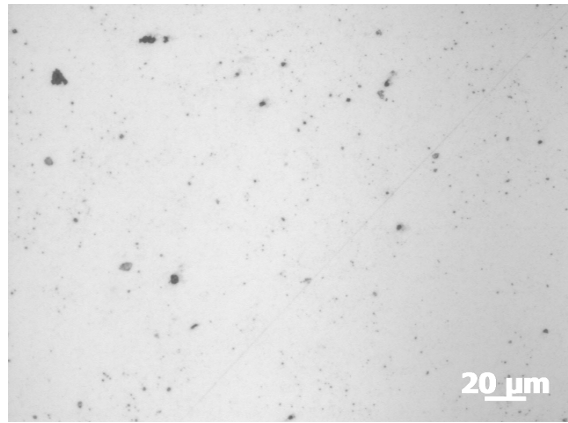


Figure 1. Inclusion distribution of ZX-1  
图 1. ZX-1 的夹杂物分布

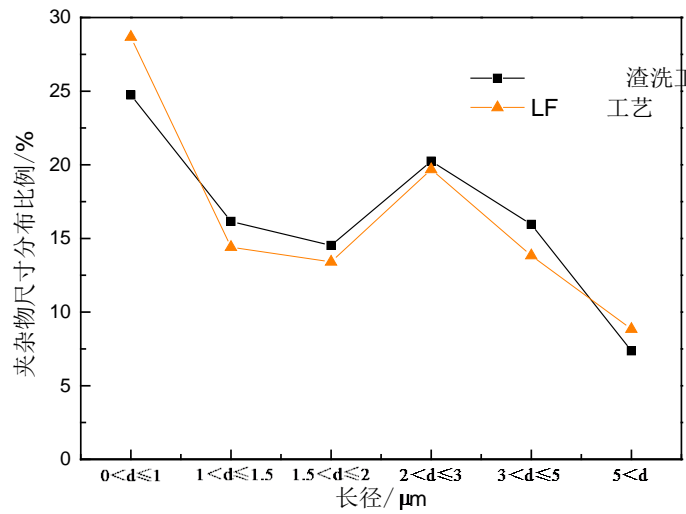


Figure 2. Inclusions in continuous casting slab  
图 2. 铸坯工序中夹杂物

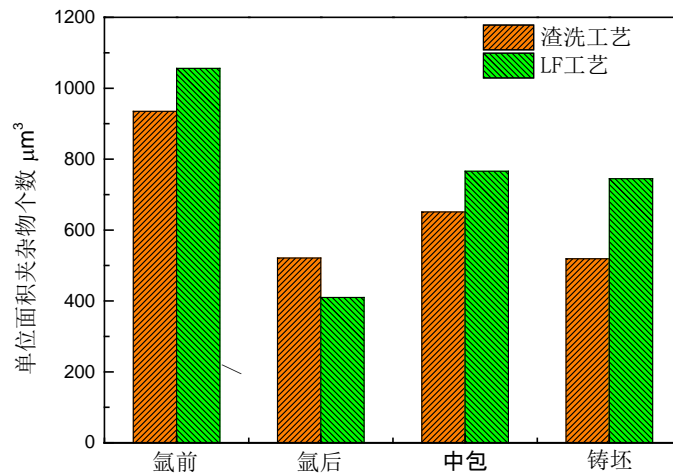
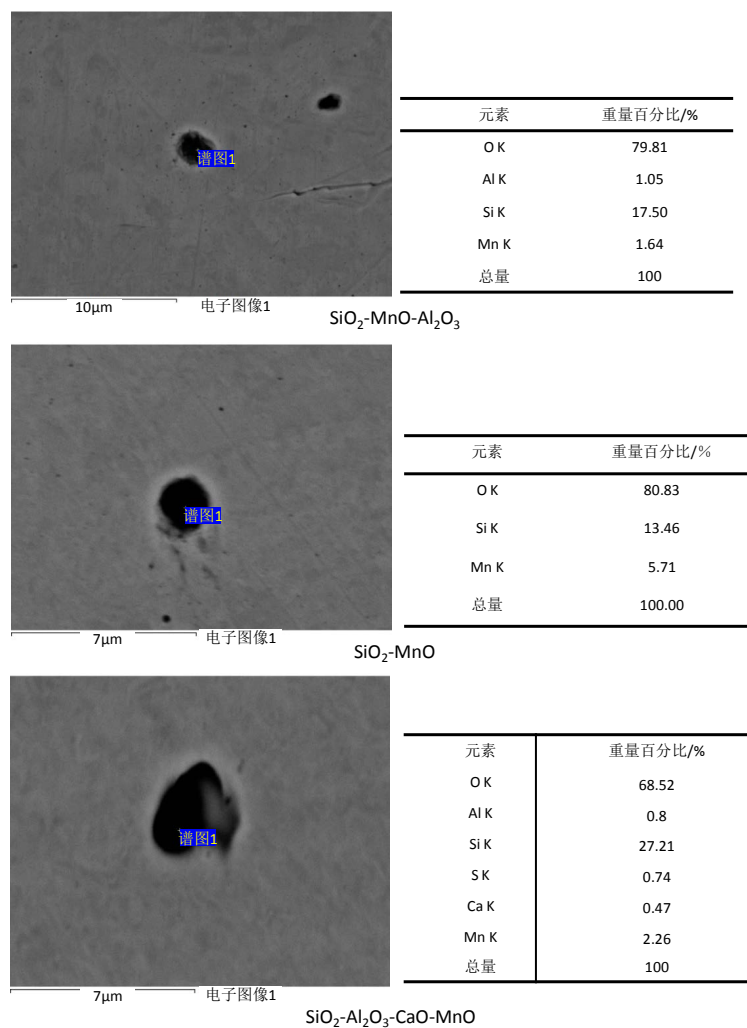


Figure 3. Number of inclusions per unit area  
图 3. 各个工序单位面积夹杂物个数



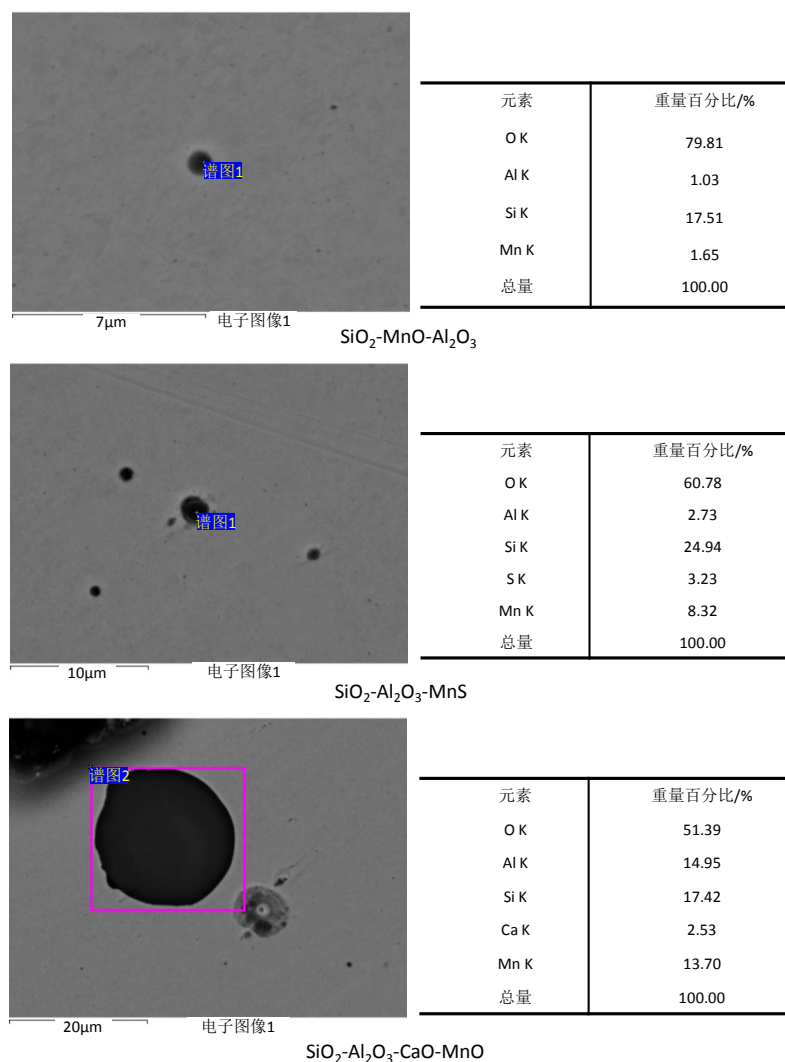
**Figure 4.** Typical morphology and composition of casting slab inclusions during slag washing process

**图 4.** 渣洗铸坯夹杂物典型形貌及成分

**Table 3.** Composition of different processes

**表 3.** 不同工艺成品成分

炉号	钢种	成品成分/%					备注
		C	Si	Mn	P	S	
X-233	Q235B	0.18	0.21	0.31	0.017	0.008	渣洗
X-234	Q235B	0.18	0.19	0.36	0.036	0.006	渣洗
X-235	Q235B	0.15	0.2	0.26	0.022	0.011	渣洗
X-236	Q235B	0.17	0.19	0.32	0.037	0.008	渣洗
X-237	Q235B	0.16	0.21	0.31	0.031	0.009	渣洗
X-243	Q235B	0.19	0.22	0.43	0.028	0.012	LF
X-244	Q235B	0.16	0.14	0.27	0.031	0.006	LF
X-245	Q235B	0.16	0.14	0.24	0.016	0.008	LF
X-246	Q235B	0.16	0.16	0.32	0.024	0.007	LF



**Figure 5.** Typical morphology and composition of casting slab inclusions during LF process

**图 5.** LF 铸坯夹杂物典型形貌及成分

Q235B 的具体成品成分,可以看出经过渣洗工艺的各个成分,特别是  $w[S]$  与 LF 工艺相比结果较为相似,可见渣洗工艺可以较好冶炼 Q235B。

#### 4. 结论

- 1) 开发出采用 CaO-SiO<sub>2</sub> 系渣洗料的 LD-渣洗-CC 冶炼硅镇静钢的冶炼新工艺;
- 2) 渣洗工艺的夹杂物大小分布主要是  $d \leq 1 \mu\text{m}$  最多,  $5 \mu\text{m} < d$  最少,整体尺寸分布比例与 LF 工艺趋势相似;
- 3) 渣洗工艺夹杂物以不规则和近球形的含 SiO<sub>2</sub> 复合夹杂为主,LF 工艺夹杂物虽以 SiO<sub>2</sub> 复合夹杂为主,但 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量较高;
- 4) 与 LF 工艺的成品成分相比较,渣洗工艺与其相当,达到产品成分要求。
- 5) 渣洗工艺在夹杂物的大小、数量、形貌及成分上可以达到原 LF 工艺冶炼钢水平,可以替代 LF 工艺生产 Q235B 硅镇静钢。

## 基金项目

辽宁省高等学校优秀人才支持计划(LJQ2015056); 辽宁省博士科研启动基金(20170520079); 国家自然科学基金(51574063)。

## 参考文献 (References)

- [1] 马军红, 朴占龙, 王雁, 等. Q235 钢中显微夹杂物行为研究[J]. 上海金属, 2017, 39(2): 55-58.
- [2] 陈建斌. 炉外处理[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008: 1-5.
- [3] 赵和明, 谢兵. LF 炉精炼渣冶金性能的研究现状[J]. 钢铁钒钛, 2002, 23(4): 52-57.
- [4] 郭艳萍. LF 精炼过程多元渣系的热力学成分优化研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2014: 2-11.
- [5] 赵圣功, 张永青, 费燕, 等. 预熔合成渣洗工艺在品种钢生产中的应用[J]. 莱钢科技, 2009(1): 54-55.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2373-1478, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [meng@hanspub.org](mailto:meng@hanspub.org)