

# 基于BOF-RH-CC冶金流程的22SiMn2中厚板夹杂物控制研究

赵国知, 杨治争

宝钢中央研究院(青山), 湖北 武汉

收稿日期: 2021年9月10日; 录用日期: 2021年9月30日; 发布日期: 2021年10月11日

## 摘要

基于过程温度分布、工序操作等因素, 研究BOF-RH-CC冶金流程条件下的22SiMn2钢夹杂物控制方法, 得出了RH工序处理过程及效果是该钢种纯净度的决定性因素, 而过程温度与节奏控制对RH处理过程有重要影响, 通过缩短Ar站处理时间并建立规范化的RH操作模式, 稳定连铸过程, 钢中的夹杂物总量由平均0.0136%降低至0.0084%, 超声波探伤合格率由80%左右提高至97%以上。

## 关键词

夹杂物, RH处理, 变性处理

## Research on Inclusion Control of 22SiMn2 Medium Plate Based on BOF-RH-CC Metallurgical Process

Guozhi Zhao, Zhizheng Yang

Baosteel Central Research Institute (Qingshan Branch), Wuhan Hubei

Received: Sep. 10<sup>th</sup>, 2021; accepted: Sep. 30<sup>th</sup>, 2021; published: Oct. 11<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

Inclusion control method of 22SiMn2 steel under BOF-RH-CC metallurgical process is studied based on process temperature distribution and process operation. It is concluded that the RH process treatment process and effect are the decisive factors for the cleanness of the steel, and the process temperature and rhythm control have important influence on the RH treatment process. By short-

ening the treatment time of Ar station, establishing a standardized RH operation mode, stabilizing the continuous casting process, the average total amount of inclusions in steel was reduced from 0.0136% to 0.0084%, and the qualified rate of ultrasonic flaw detection was increased from about 80% to more than 97%.

## Keywords

Inclusion, RH Treat, Modification Treatment

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 前言

22SiMn2 中厚板主要用于工程机械、铲刀刃等领域, 应用场景一般较为恶劣, 而钢质纯净度直接影响其冷弯性能、冲击韧性等应用性能, 也影响其探伤合格率, 从而导致成材率波动。在某炼钢厂 22SiMn2 的生产流程如下: 脱硫铁水 - 转炉冶炼 - RH 精炼 - 连铸 - 铸坯加热 - 轧制 - 热处理 - 探伤 - 入库。基于短流程化及场地限制等因素, 该流程放弃了 LF 这一关键性中继加热环节, 合金加入对钢水的热平衡造成明显影响, 而温度与节奏的波动又影响着 RH 处理效果, 造成钢中夹杂物过多, 从而影响冶金质量及钢种的力学性能与应用性能。本文将从冶金过程温度分布优化, RH 处理模式创新以及连铸过程控制等方面提高 22SiMn2 中厚板的纯净度水平和力学性能。

## 2. 过程纯净度及夹杂物分析

### 2.1. 数据收集与试样采集

本项目中的生产数据来自于一、二级机数据, 但试样采集不能全部适时完成, 如转炉冶炼试样仅可在出钢过程或出钢完成后进行采集, 精炼过程的数据采集量也有限。

实际生产中, 用专用的取样器, 在 Ar 站、RH 精炼和连铸中间包等环节进行间隔性的取样, 一般通过 T[O]数值来判断钢水纯净度, 同时, 不同工序所取试样还可进行夹杂物类型和总量分析, 进一步研究钢水纯净度及夹杂物状况。

### 2.2. 不同工序的钢水纯净度及温度状况

T[O]作为钢水纯净度的标志之一[1], 通过铸坯取样, 加工为 $\phi 5 \times 5$  mm 的试样, 通过氮氧分析仪检测, 得出不同工序的钢水 T[O]数据如表 1 所示:

**Table 1.** T[O]/ppm of steel in different metallurgical process

**表 1.** 不同工序的钢水全氧含量/ppm

工序	转炉结束	出钢结束	Ar 站到站	RH 到站	RH 结束
T[O] l/ppm	900~1100	200~350	150~180	100~150	10~20
温度/°C	1700~1720	1600~1660	1585~1650	1580~1640	1570~1580

表 1 中数据表明, 转炉出钢温度过高, 22SiMn2 钢出钢钢水全氧含量严重偏高, 氧化性过强, 这必

然带来初始夹杂物含量严重偏高, 实际为整个冶金过程奠定了不良基础。

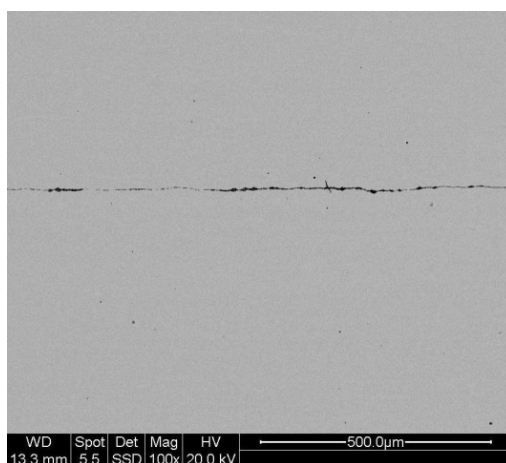
RH 处理是冶金过程中最重要的处理工序[2] [3], 但由于生产中到 RH 工位的钢水温度波动范围极大, 处理过程难以做到稳定统一, 在温度过低时, KTB 吹氧作为温度补偿的必要手段被广泛应用, 由于缺少规范化的操作标准和模式, 不同班组在 KTB 吹氧方面也存在较大差异, 造成钢水质量的剧烈波动。

钢水凝固后, 钢中的夹杂物及全氧含量可精确检测, 实际检测的全氧含量在 20~30 ppm 之间波动, 50  $\mu\text{m}$  及以下粒径的电解夹杂物的类型及含量检测结果如表 2 所示, 通过通过 Olympus 金相显微镜、FEIQUANTA400 扫描电镜(SEM)和 EDAXGenesis 100-EDS 等的分析, 得到的夹杂物的形貌等细节如图 1~图 5 所示。

**Table 2.** Types and content of inclusions in final 22SiMn2 plate

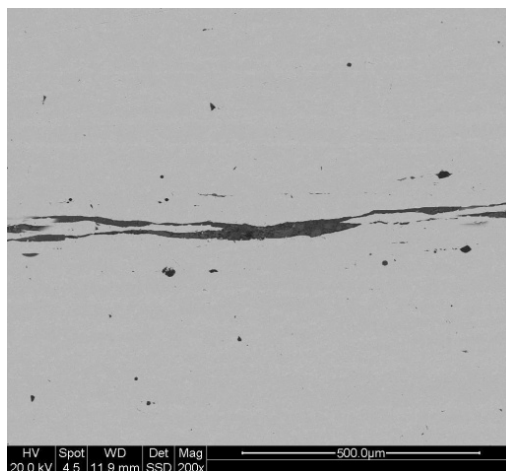
**表 2.** 22SiMn2 成品钢板中电解夹杂物类型及含量

类型	Total amount	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Others
含量 w <sub>v</sub> /%	0.0136	0.011	0.0006	0.0012	0.0008



**Figure 1.** Strip inclusion in 20 mm plate

**图 1.** 20 mm 厚钢板中的条状夹杂物



**Figure 2.** Irregular band inclusion in 30 mm plate

**图 2.** 30 mm 厚钢板中的不规则条带状夹杂物

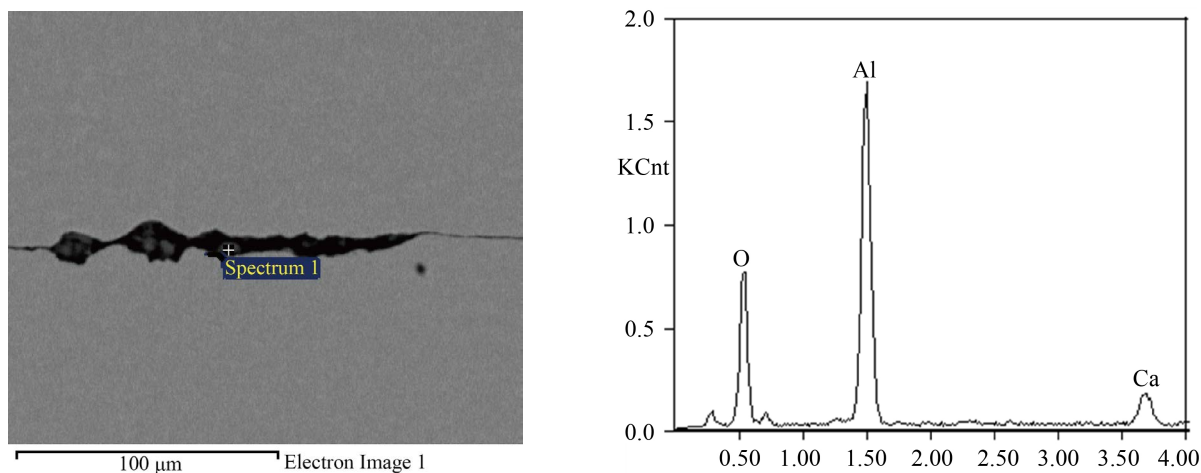


Figure 3. Morphology and components of strip inclusion in 20 mm plate

图 3. 20 mm 钢板条状夹杂物的形貌及成分

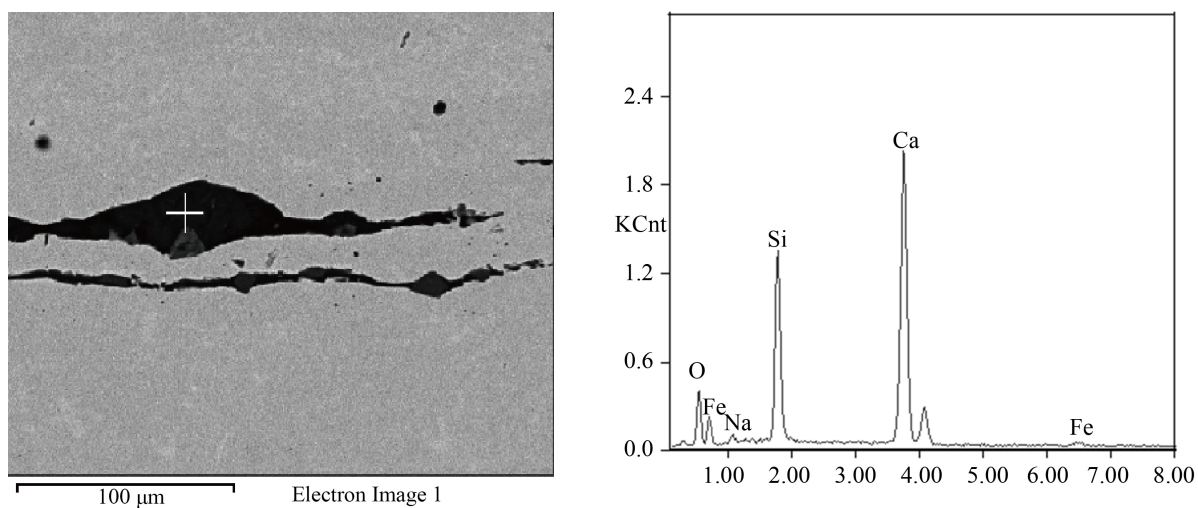


Figure 4. Morphology and components of irregular band inclusion in 30 mm plate

图 4. 30 mm 钢板带状夹杂物部分放大的形貌和成分

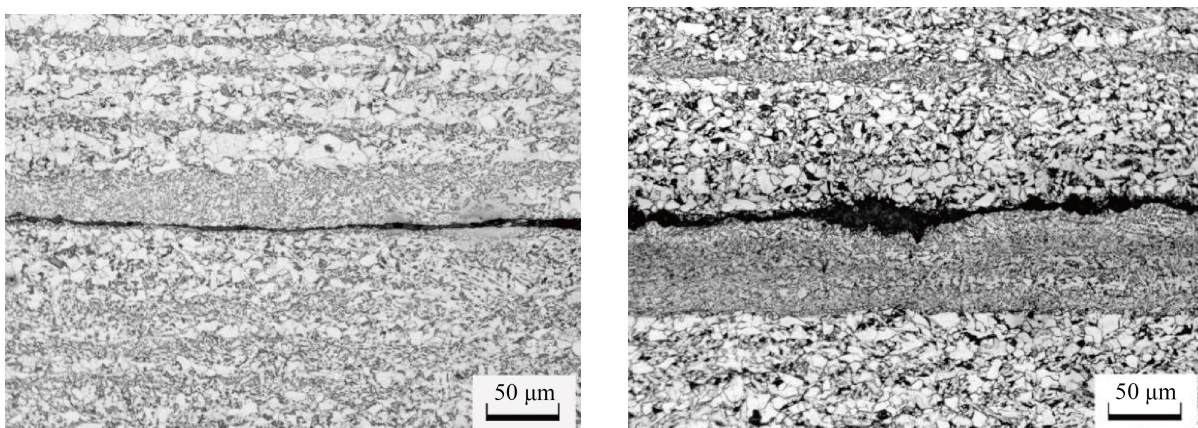


Figure 5. Segregation structure around strip and band inclusions

图 5. 条状和带状夹杂物周围的组织偏析特征

从图 1~图 5 可以看出, 毫米级夹杂物的存在, 在外力存在的情况下, 引起应力集中, 使钢板的冲击韧性下降, 并可能出现冷弯开裂, 而裂纹中 Na 元素的出现可以断定其来源包含但不限于连铸环节的保护渣卷入, 此类夹杂物周围存在的明显偏析带也加大了超声波探伤不合格率[4] [5]。

由此得出以下基本结论:

- 1) 出钢温度过高, 钢水初始氧化性过强, 引起合金消耗量增加, 冶金过程纯净度控制的基础恶化。
- 2) 现有的 RH 工序处理过程缺少规范, 在生产节奏及到站温度波动剧烈的条件下, 处理过程未实现标准化, 处理效果不稳定。
- 3) 连铸过程稳定性不足, 一方面夹杂物的最终去除过程受到影响, 另一方面可能带来钢水的二次污染。
- 4) 超大型夹杂物的存在是成品钢板探伤不合的直接原因, 从夹杂物成分看出, 该类夹杂物可能来源于冶金过程的各个环节。

### 3. 控制夹杂物的措施

1) 减少废钢加入比率, 即在原有热平衡计算应加入废钢量的基础上, 进一步减少废钢加入量, 这有利于减少钢水初始热量支出, 避免高温出钢过程中过多的钢水氧化热贡献。实际生产中, 废钢加入量减少 1.5~2 吨每炉, 控制废钢比在 12%~15% 的范围内, 冶炼终点温度从 1700℃~1720℃普遍降至 1700℃以下。

2) 缩短氩站处理时间, 减少氩站的温降及对总体节奏的影响。实际生产中将氩站处理时间由平均 5 分钟缩短至 100 秒以内, 氩站处理温降减少了 5℃~10℃, 由于氩站的钢水均匀化功能在 RH 可以实现, 所以, 实际处理效果并不受影响。

3) RH 出钢过程的标准化

通过过程优化, 钢水罐到达 RH 时, 钢水温度从 1570℃~1635℃的范围, 优化至 1580℃~1640℃的敢为。基于热平衡及热力学、动力学计算, 得出合理的 RH 处理模式, 如表 3 所示。

**Table 3.** Optimized RH treating mode

**表 3.** 优化的 RH 处理模式

开始温度/℃	KTB O <sub>2</sub> Blowing	O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	结束温度/℃
≥1635	No	0	
1635~1620	Yes	4~10	1580~1585
1620~1600	Yes	10~15	
1600~1580	Yes	15~25	

原有生产模式下, RH 处理结束钢水温度再 1575℃~1595℃的范围内剧烈波动, 且经常因为生产节奏问题取消喂钙线处理操作, 即减少了夹杂物变性处理环节, 喂入钙线进行处理的实施率 67%左右, 且喂入后, 由于生产节奏控制问题, 钢水罐底部供氩软吹的时间经常小于 3 min, 夹杂物上浮时间不足, 可能造成大型夹杂物在钢液中残留。通过以上处理模式的实施, 所有 22SiMn2 钢的处理过程和结束温度都变得稳定可控, 钙处理率达到 98%以上, 且钙处理后可稳定保证 3 min 以上的软吹搅拌时间, 促进夹杂物上浮。

4) 连铸采用 0.8~0.85 L/kg 的弱二次冷却模式并动态控制, 全程开启连铸电磁搅拌装置, 以减少铸坯的偏析及夹杂物偏聚。

#### 4. 结果与讨论

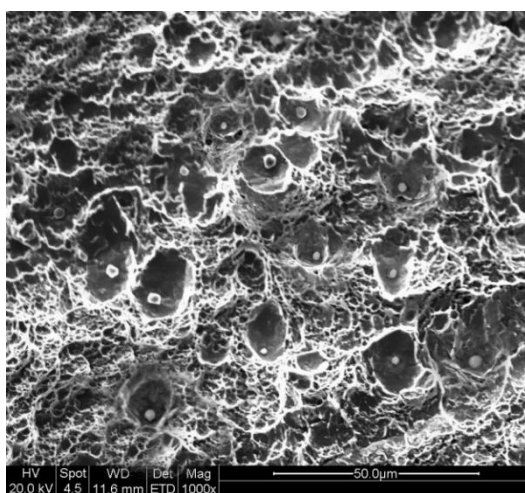
通过优化措施的实施, 基于 BOF-RH-CC 流程的 22SiMn2 钢冶金质量得到明显提升, 成品钢中夹杂物含量相应降低, 如表 4 和图 6、图 7 所示。

**Table 4.** Average value of inclusion in 22SiMn2 plate after optimization

**表 4.** 优化后 22SiMn2 钢板中的夹杂物平均含量

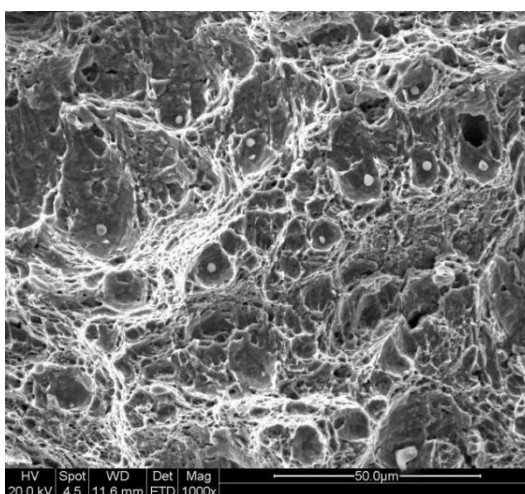
Type	Total amount	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Others
Content/%	0.0084	0.0075	0.0004	0.0002	0.0003

从表 4 中可以看出, 夹杂物总量及各分量均有一定减少, 钢水纯净度得到有效改善。



**Figure 6.** Spinel inclusion in impact fracture before optimization

**图 6.** 优化前冲击断口及尖晶石类夹杂物



**Figure 7.** Spherical inclusion in impact fracture after optimization

**图 7.** 优化后冲击断口及球状夹杂物

从图 7 与图 6 对比可以看出, 工艺优化后, 钙处理充分, 经相同工艺的热处理后, 可见冲击断口的夹杂物由多棱的镁铝尖晶石类转变为球状的铝酸钙类, 由于球状夹杂物与钢基的浸润程度较好, 在受冲击时, 吸收能量较多, 尖晶石类夹杂物与钢基的收缩比差距较大, 二者之间常有间隙存在, 在受冲击时, 常称为撕裂起始点, 影响吸收能力。因此, 家务变性为球状铝酸钙类夹杂物, 理论上冲击性能更好[6] [7] [8], 实际结果如表 5 所示:

**Table 5.** Impact character of typical sample before\ after optimization

**表 5.** 工艺优化前后典型试样的冲击性能

类型	指标	冲击吸收能量/KV <sub>2</sub> /J					
		20℃			-40℃		
优化前	22	26	23	19	18	19	
优化后	31	33	34	25	26	23	

从表 5 看出, 工艺优化后, 常温和-40℃冲击吸收能量均有较明显提升。钢板经轧制后, 超声波二级探伤合格率由 80%左右提高至 97%以上的水平。

总之系列优化措施具有显著的有效性。

## 5. 结论

- 1) 基于 BOF-RH-CC 流程的 22SiMn2 钢冶金过程稳定性对其钢板的夹杂物总量以及成品性能有决定性影响。
- 2) 通过全流程控制并重点优化 RH 处理工艺, 保证钙处理的实施及效果, 22SiMn2 钢中的夹杂物总量由平均 0.0136%降至 0.0084%, 夹杂物改性良好。
- 3) 以夹杂物为核心的纯净度提升, 使超声波探伤合格率由 80%左右提高至 97%以上。

## 参考文献

- [1] Yin, W.-P. and Liu, H.-B. (2004) Research on Rule of [O] in Steel Changing Base on BOF Smelting. *Steelmaking*, **20**, 47-49.
- [2] 王殿禄, 洪保义. 钢液真空处理[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1979.
- [3] 田中英雄, 木神原路晤, 林顺一. RH 真空脱气法的环流量特征[J]. 制钢研究, 1978, 29(3): 49-55.
- [4] Yang, Z.-Z., Zhou, Q.-X., Yin, Y.-Y., et al. (2014) Causes Analysis on Supersonic inspection Disqualification of High strength Medium Plate. *Metallurgical Industry Automation*, **38**, 57-60.
- [5] Xue, Z.-L., Li, Z.-B. and Zhang, J.-W. (1999) Inclusion Morphology Control for Super Clean Steel. *Journal of Wuhan University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, **22**, 221-223.
- [6] Ray, A., Paul, S.K. and Jha, S. (1995) Effect of Inclusions and Microstructure Characteristics on the Mechanical Properties and Fracture Behavior of a High-Strength Low-Alloy Steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*, **4**, 679-688. <https://doi.org/10.1007/BF02646444>
- [7] 李晓源, 时捷, 董瀚. 夹杂物特征参数对 40CrNi2Mo 钢塑性的影响[J]. 材料研究学报, 2002, 24(1): 91-96.
- [8] 李静媛, 章为夷, 魏成富, 等. 钢中夹杂物与钢的性能及断裂[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2012.