

# 首钢薄板洁净钢生产技术进展

朱国森<sup>1</sup> 李海波<sup>1</sup> 刘柏松<sup>1</sup> 陈斌<sup>1</sup> 杨健<sup>2</sup> 亢小敏<sup>2</sup>

(1. 首钢技术研究院, 北京 100043; 2. 河北省首钢迁安钢铁责任有限公司, 迁安市 064404)

**摘要** 首钢搬迁后, 将产品定位于优质薄板。本文以抗 HIC 管线钢和 IF 钢为代表, 介绍了薄板洁净钢生产技术研究进展。采用全流程硫含量控制技术, 其中“铁水预处理(扒渣 95%以上)→转炉精料(抑制回硫)→出钢预精炼→LF 炉快速成高还原渣+还原性气氛+强搅拌”工艺冶炼的极低硫钢水中的硫含量平均为 5.5ppm。RH 自然脱碳工艺条件下, 12min 真空精炼处理后, 可以将钢水碳含量脱至 0.001%。开发了管线钢和汽车用钢夹杂物控制技术, 能够将管线钢条串状夹杂物大于 2.0 级的比例控制在 2% 以下, 汽车板用钢的夹杂物绝大多数为微小(<5 微米)块状 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 夹杂物。

**关键词** 洁净钢; 夹杂物; 管线钢; 汽车板

## Progress of Clean Steel Plate Production

### Technology in Shougang

Zhu Guosen<sup>1</sup> Li Haibo<sup>1</sup> Liu Baisong<sup>1</sup> Chen Bin<sup>1</sup> Yang Jian<sup>2</sup> Kang Xiaomin<sup>2</sup>

(1. Shougang Research Institute of Technology, Beijing, 100043; 2. Heibei Shougang Qian'an Iron & Steel Co.,Ltd., Qian'an, 064404)

**Abstract** After moving of Shougang, the high quality strip is confirmed as the most important production. Take the pipeline steel and automobile steel as representation, the paper expatiates the progress of clean steel production technology. Using the production routine, “De-S of hot metal(slag remove more than 95%)→BOF refining→tapping pre-refining→strong reductive slag, reductive atmosphere and strong blowing in LF refining”, the average of sulfur content in hot metal is  $5.5 \times 10^{-4}\%$ . Using the RH nature decarburization technology, the carbon content could be controlled below 0.001% after 12min. The inclusions controlling technology of pipeline steel and automobile steel was developed. With the technology, the percentage of catenulate inclusions over than 2.0 grade in pipeline steel could be controlled below 2% and the inclusions of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in automobile steel could be controlled with size below 5 μ m.

**Keywords** clean steel, inclusions, pipeline steel, automobile plate

首钢搬迁之后, 产品逐渐从长材向板材转变, 首钢迁钢公司是首钢在迁安建设的一个新兴钢铁公司, 产品主要以热轧板卷和冷轧板卷为主, 其中冷轧板卷占 40% 左右, 在热轧板卷中管线钢对钢的洁净度要求最高, 在冷轧板卷中汽车板用钢对钢的洁净度要求最高, 本文以管线钢和汽车板用钢为代表钢种, 对迁钢公司的洁净钢技术研究进行阐述。

## 1 高洁净度薄板产品的质量要求

### 1.1 热轧板卷的质量要求

绝大多数热轧板卷对钢中的硫含量要求严格,由于硫在钢中偏析倾向严重,即使在钢水硫含量很低的情况下,依旧容易在连铸坯中出现 MnS 夹杂物,严重影响非轧制方向(宽度)性能,尤其对于管线钢, MnS 夹杂物的危害是致命的<sup>[1,2]</sup>,为了降低硫的危害,某些抗 HIC 管线钢甚至要求硫含量控制在 0.001% 以下。条串状夹杂物是影响热轧板卷 Z 向性能和抗氢致裂纹性能的重要因素,也是 ASTM 标准中的 B 类夹杂物检测超标的主要原因。对于不同的热轧板卷产品,总氧含量、磷和氮含量也有相应要求。

### 1.2 冷轧板卷的质量要求

碳含量对冷轧钢板的深冲性能影响最大,为了保证优异的深冲性能,需要将碳含量控制在 0.0030% 以下,尤其对于低温退火钢板,需要控制碳含量不大于 0.0013%。并且,要求氮含量不大于 0.0030%,特殊品种,甚至要求氮含量不大于 0.0020%。冷轧钢板对非金属夹杂物要求非常严格,因为非金属夹杂物是冷轧板出现夹层、黑线等缺陷的主要原因<sup>[3-5]</sup>,日本顶级汽车板生产企业曾经宣称:非金属夹杂物造成的冷轧板表面缺陷约占总缺陷的 50%。

## 2 迁钢洁净钢的主要技术开发

### 2.1 全流程硫含量控制技术

不同钢种对硫含量的要求不同,不同级别的管线钢对硫含量的要求也不同,为了在低成本压力下生产硫含量合格的钢种,针对不同硫含量要求的钢种,开发了合适的硫含量控制技术:

(1) 铁水处理预脱硫和转炉抑制回硫控制。迁钢一炼钢 2150 生产线采用 3 座喷镁脱硫,二炼钢 1580 生产线采用 3 座 KR 脱硫。喷镁脱硫的优点在于:处理周期短、适合与宽断面铸机匹配,投资少。但是喷镁脱硫的缺点是硫含量控制高于 KR,脱硫后扒渣困难。迁钢喷镁脱硫的控制目标分为两个档次:0.0030% 和 0.0050%,对于钢种要求硫含量在 0.0020% 以下的钢种,需要严格控制扒渣,为此开发了稠渣技术,保证喷粉脱硫后炉渣拔除率达到 95% 以上。而 KR 脱硫技术的优点在于硫含量能够控制较低,开发了采用 CaO-CaF<sub>2</sub> 复合脱硫剂高效脱硫技术,能够使硫含量稳定控制在 0.0015% 以下,配合转炉精料,能够控制转炉终点硫含量在 0.003% 以下。适合“转炉+真空处理+连铸”的工艺生产冷轧品种和高拉速连铸机的合理匹配。

(2) RH 真空脱硫技术。针对“转炉+真空处理+连铸”工艺流程,开发了 RH 真空脱硫技术,在 RH 真空处理过程中加入 CaO-CaF<sub>2</sub> 的脱硫剂,利用真空处理过程钢液的搅拌,促进钢液与脱硫剂直接反应,可以实现 50% 以上的脱硫率。

(3) 转炉出钢过程预精炼+LT 技术。开发了钢包加盖顶吹氩搅拌脱硫技术(LT),在转炉出钢过程中加入大量造渣料,利用转炉出钢过程良好的动力学进行强烈搅拌,在出钢后采用顶枪吹氩搅拌脱硫,硫含量能够控制在 0.0015% 以下。

(4) 针对高级别管线钢、抗 HIC 管线钢等要求极低硫含量的钢种,开发了“铁水预处理(扒渣 95% 以上)→转炉精料(抑制回硫)→出钢预精炼→LF 炉快速成高还原渣+还原性气氛+强搅拌”工艺快速冶炼超低硫钢技术。以此工艺为基础进行了极低硫钢水冶炼技术开发。图 1 为极低硫钢水全流程硫含量的变化。可见,出钢预精炼工艺优化后,预精炼脱硫率达到了 50%,LF 炉到站的硫含量平均为  $28 \times 10^{-4}\%$ 。LF 平均经过 44min 炉外精炼时间,钢水硫含量降至平均  $7 \times 10^{-4}\%$ ,LF 精炼结束时钢水中硫含量达到了  $5.5 \times 10^{-4}\%$ 。

### 2.2 碳含量控制技术

由于超低碳钢主要用于生产成形难度大的汽车零件,日益复杂的零件形状要求进一步提高钢板性能。为了保证低的碳含量,大多企业采用的技术关键是 RH 精炼采用强制脱碳技术,即通过向钢液喷吹氧气加快脱碳并提高最终脱碳程度。该工艺存在较大不足:钢中 T[O]含量高,对钢板表面质量有不利影响。T[O]含量与

钢中的夹杂物总量有直接的关系，而非金属夹杂物的引起冷轧板表面夹层、黑线等缺陷的主要原因。

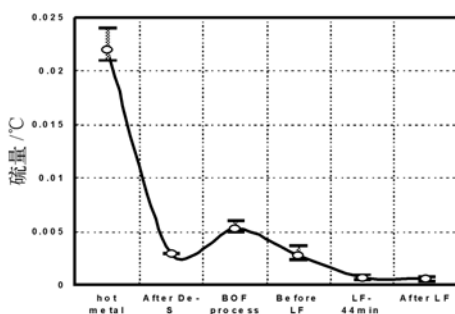


图1 极低硫钢全流程硫含量变化

RH 自然脱碳的一般规律以浦项钢铁公司光阳厂的研究结果最有代表性<sup>[6]</sup>，如图 2 所示。RH 脱碳分为：初期缓慢脱碳阶段+快速脱碳阶段+缓慢脱碳阶段。迁钢在研究了自然脱碳的过程后，开发了两阶段自然脱碳技术，对脱碳前的碳氧含量进行优化，适当提高了脱碳前的碳含量，使脱碳前的碳氧比值控制在一个合理范围内。同时针对 RH 真空处理工艺进行优化，RH 真空开始后就快速增大真空抽取功率，消除了真空室降压平台，同时快速增大提升气体流量，避免了初期缓慢脱碳阶段。采用该技术后，真空处理 12min，钢水碳含量能够降低至 0.001% 以下，如图 3 所示。

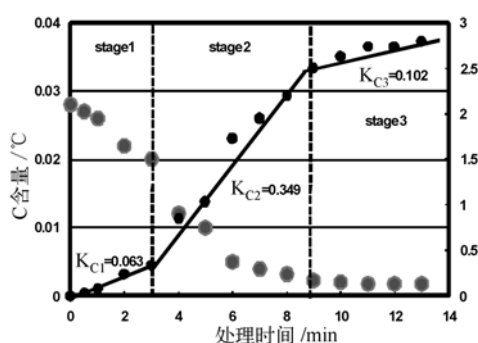


图2 浦项光阳厂 RH 脱碳规律

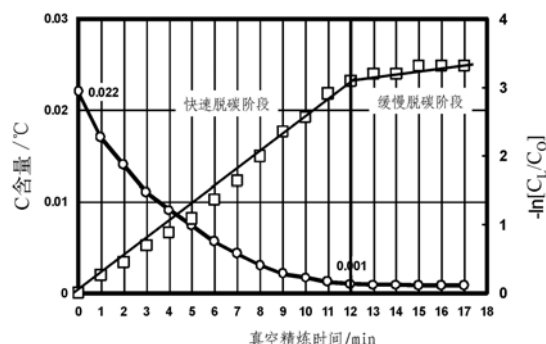


图3 迁钢 RH 脱碳规律

当 RH 处理前碳氧含量不能满足快速自然脱碳时，开发了强制脱碳技术。强制脱碳条件下，钢水平均碳含量和脱碳速率的变化见图 4。可见：

(1) 和自然脱碳“二阶段”不同的是：强制脱碳后，脱碳呈现明显的“三阶段”。初期脱碳缓慢阶段、中期快速脱碳阶段和后期脱碳停滞阶段。初期时间约 1~3min，快速脱碳阶段约 10min。RH 脱碳结束时的碳含量为  $7\sim 14\times 10^{-4}\%$ ，平均为  $10\times 10^{-4}\%$ ，在 RH 处理结束时的碳含量平均为  $10.5\times 10^{-4}\%$ 。

(2) 但是与自然脱碳的快速脱碳阶段相比，强制脱碳的快速阶段的表现脱碳速率常数并没有明显提高。

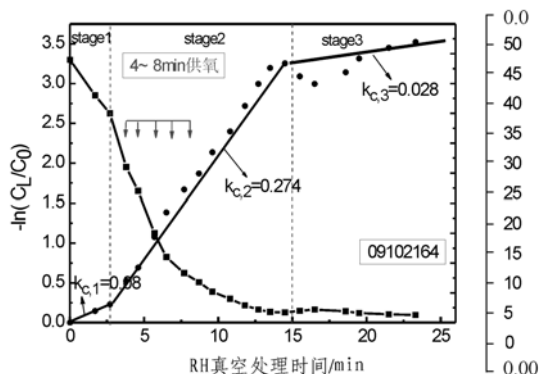


图4 强制脱碳时碳含量和脱碳速率

## 2.3 夹杂物控制技术

### 2.3.1 条串状类夹杂物控制技术

对于管线钢、船板等钢种,采用铝脱氧和高碱度炉渣精炼的钢种,钢液中的夹杂物的转变过程为“ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{—MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 尖晶石夹杂物—钙铝酸盐类夹杂物”,通过对 B 类夹杂物超过 2 级的钢板进行分析,超标的夹杂物主要是以低熔点的钙铝酸盐类夹杂物为主,夹杂物的组成接近  $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$  的组成,由于此类夹杂物为液态,容易聚合为大颗粒的夹杂物,在钢的轧制过程中被轧制成条串状,这也是容易超标的主要原因,为了避免在浇铸前夹杂物聚合为大颗粒的夹杂物,开发了两种方法对夹杂物进行控制:

(1)加快夹杂物的转变,如图 5 所示,在 LF 精炼结束时,夹杂物已经能够完全转变为靠近  $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$  区域的低熔点夹杂物,在后道工序 RH 真空处理和软吹过程中,使夹杂物更容易碰撞聚合上浮排出钢液,最终控制钢液中的夹杂物为小颗粒的夹杂物。

(2)使夹杂物推迟转变,也就是控制炉渣中的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量较高,抑制夹杂物转变为低熔点的夹杂物,使夹杂物在浇铸前依旧保持为高熔点的钙镁铝酸盐类夹杂物。

通过这两种方法,能够使铸坯中的夹杂物均处于高熔点状态,避免了 B 类夹杂物的超标。

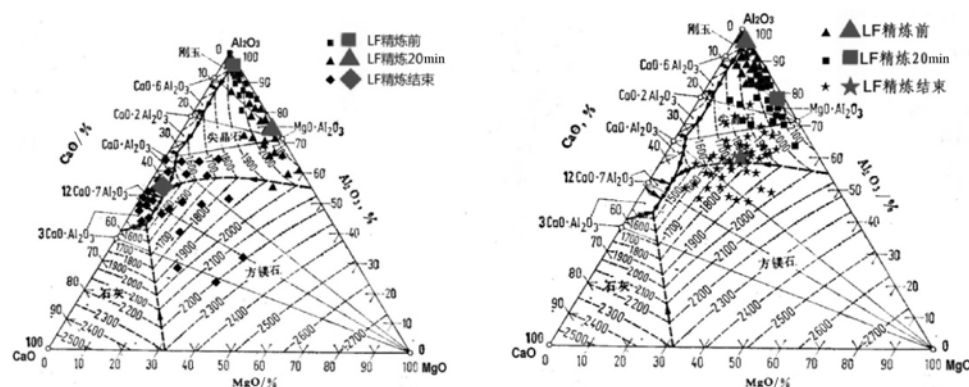


图 5 采用新工艺时钢液中夹杂物的转变过程

### 2.3.2 Al-O-N-Ti 系夹杂物控制技术

日本钢铁企业控制超深冲钢中夹杂物的水平最高,其技术关键主要有:(1)全“三脱”(脱硅、脱硫、脱磷)铁水预处理;(2)转炉少渣冶炼;(3)转炉终点防止钢水过氧化;(4)减少转炉下渣;(5)精炼前、后对钢包顶渣进行脱氧改质;(6)连铸保护浇铸;(7)连铸结晶器内钢水流动控制技术(浸入式水口优化、电磁搅拌、电磁制动等);(8)非稳态浇铸铸坯质量控制技术等。与日本企业不同,国美钢厂一般没有全“三脱”铁水预处理设备,难以实现转炉少渣冶炼,防止转炉下渣的控制难度增大。

为了实现超深冲钢中夹杂物的高水平控制,研发了“超深冲钢生产过程中 Al-O-N-Ti 系夹杂物深度去除技术”,其关键技术有:(1)设计了新的氧气转炉顶底复合吹炼模式,转炉吹炼后期降低顶吹氧枪枪位、提高供氧强度,同时提高底吹氩气流量;(2)采用高铝含量的缓释脱氧剂在出钢结束后对钢包顶渣进行适度脱氧改质,控制较低的炉渣 T.Fe 含量;(3)RH 脱碳结束后采用一次性加入大铝量脱氧;(4)RH 脱氧后采用较长时间的真空纯循环处理;(5)采用高还原性中间包覆盖剂;(6)对铸坯进行扒皮处理。

采用了上述技术措施后,汽车钢板中夹杂物绝大多数为微小( $<5\mu\text{m}$ )块状  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂物,如图 6 所示,没有簇群状  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂物,超低碳钢板卷平均  $[\text{T}][\text{O}]$  含量为 0.0013%。

## 2.4 N 含量控制技术

为了降低钢水氮含量,采用的技术措施主要包括:(1)优化了转炉吹炼模式,降低转炉终点氮含量。(2)提高长水口(钢包至中间包的钢水通道)顶升压力。(3)对钢包下水口和长水口进行改进:增大钢包下水口倾角和长水口碗部倾角;减小钢包下水口倾角深度;增加长水口的长度;密封圈材质改进。(4)采用流量控制更为精准的新型中间包氩气控制箱,保证了吹氩的密封效果,杜绝了空气的吸入。图 7 表示了迁钢 2011

年上半年部分超低碳钢种中间包增氮的控制情况。可以看出，目前迁钢超低碳钢种连铸过程钢水平均增氮量控制在 0.00012%。

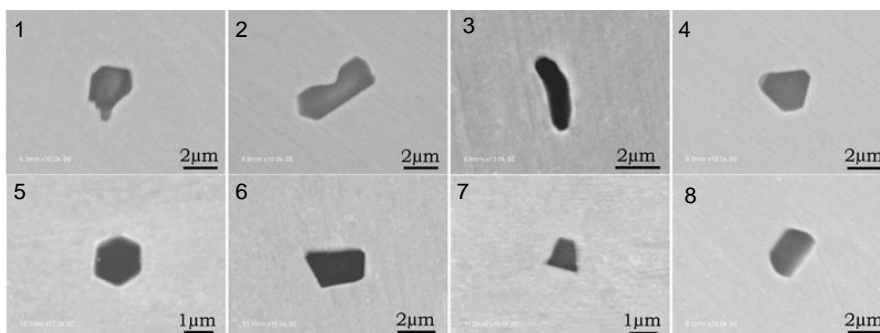


图 6 超深冲钢中非金属夹杂物

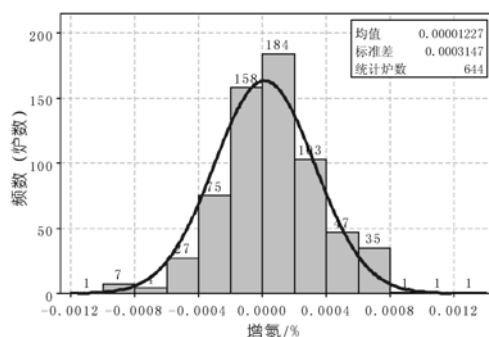


图 7 增氮控制水平

### 3 小结

以抗 HIC 管线钢和 IF 钢为代表，回顾了首钢搬迁调整后薄板洁净钢生产技术研究的进展，取得的结果主要有：

(1) 开发了转炉出钢预精炼、LT、RH 真空脱硫等成本较低的脱硫技术。针对硫含量要求苛刻的钢种，开发了“铁水预处理（扒渣 95% 以上）→转炉精料（抑制回硫）→出钢预精炼→LF 炉快速成高还原渣+还原性气氛+强搅拌”快速生产极低硫钢工艺，硫含量平均为  $5.5 \times 10^{-4}\%$ 。

(2) 通过消除 RH 真空室压降平台、调整 RH 处理前钢水中碳氧含量比值等措施，RH 真空处理 12min，钢水碳含量可脱至 0.001% 以下。

(3) 对管线钢和超低碳钢生产过程中的夹杂物演变进行研究，采用不同控制工艺，使管线钢中条串状夹杂物大于 2.0 级的比例控制在 2% 以下，控制汽车板中夹杂物绝大多数为微小( $<5\mu\text{m}$ )块状  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂物。

(4) 对设备、工艺进行了一系列改造和优化后，超低碳钢钢水增氮得到有效控制，连铸过程中间包钢水增氮量平均为 0.00012%。

### 参考文献

- [1] 余志祥, 郑万, 汪晓川, 邹阳. 洁净钢的生产实践[J]. 炼钢, 2000, 16(3):11~15.
- [2] 张彩军, 郭艳勇, 蔡开科, 等. 管线钢连铸坯洁净度研究[J]. 钢铁, 2003, 38(5): 19~22.
- [3] 高文芳. 冷轧薄板表面缺陷研究[J]. 炼钢, 2006, 22(3): 22~25 .
- [4] 张维维, 李晓伟, 吕春风. IF 钢冷轧板表面条状缺陷[J]. 钢铁研究学报, 2009, 21(7): 59~62.
- [5] 彭其春, 田俊, 尹会芳, 等. 冷轧板表面线状缺陷成因分析与探讨[J]. 武汉科技大学学报, 2009, 32(1): 15~19.
- [6] Kang SC, Kim KC, Park J-M, et al. Improvement of Decarburization Capacity of RH Degasser by Revamping at Kwangyang Works, POSCO[C]. Steelmaking Conference Proceedings, 2000: 99~106.