包钢无取向硅钢顶渣改质技术研究*

武晓晶，张文凯，苏海龙，刘晓东

（内蒙古包钢钢联股份有限公司薄板坯连铸连轧厂，内蒙古 包头 014010）

摘 要： 通过对硅钢顶渣中 w(FeO) 变化的分析，得出硅钢转炉出钢不完全脱氧，导致钢中的氧向渣中传递，是转炉工序钢包顶渣改质效果不佳的主要原因。通过采用转炉工序钢包顶渣改质、RH 工序钢包顶渣改质两步顶渣改质工艺，并在 RH 脱碳前采取锰合金化等技术措施，可将超低碳钢 RH 出站钢包顶渣中的 w(FeO) 降低至 5% 以下，w(MnO) 控制在 4% 左右，中间包钢水 $w[O]_T$ 控制在 20×10^{-6} 以下，显著地提高了超低碳钢的洁净度。

关键词： 超低碳钢；顶渣；改质

中图分类号： TF703.5$^+$4 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438(2017)05－0014－03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.05.005

Study on Top Slag Modification of Non－oriented Silicon Steel in Baotou Steel

WU Xiao－jing, ZHANG Wen－kai, SU Hai－long, LIU Xiao－dong

(*CSP Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: Through the analysis of w(FeO) change in top slag of silicon steel, it is concluded that the converter tapping of silicon steel is not completely deoxidized, which leads to the transmission of oxygen from steel to slag, and it is the main reason for poor effect in top slag modification of steel ladle in converter process. Through two－step top slag modification, the one is top slag modification of steel ladle in converter process, the other one is top slag modification of steel ladle in RH process, and taking the technical measure of alloying of manganese before RH decarburization, the w(FeO) in RH top slag of steel ladle for ultra－low carbon steel can be reduced to less than 5%, and the w(MnO) shall be controlled at about 4%, and the $w[O]_T$ in tundish molten steel shall be controlled below 20×10^{-6}, through which the cleanliness of ultra－low carbon steel will be remarkably improved.

Key words: ultra－low carbon steel; top slag; modification

洁净钢是未来钢种的重要发展方向，钢水的洁净度对无取向硅钢的产品质量和磁性有重要影响；提高钢水洁净度，控制夹杂物的析出和无害化处理也是无取向硅钢炼钢过程中需要解决的问题。炼钢过程中钢渣的氧化性与钢材的质量息息相关，钢包顶渣的氧化性直接影响到中间包钢水的全氧含量，从而影响钢水的洁净度。为了保证超低碳钢优良的性能，炼钢工序必须严格控制钢包渣乃至中间包渣的氧化性，提高其溶解吸收夹杂物的能力，减少钢水中的夹杂，以提高钢材质量才能更好的满足市场的需要。包钢薄板坯连铸连轧厂（以下简称薄板厂）于 2014 年新建一座 210 t RH 精炼炉，主要功能是配套 CSP 生产线，用于生产无取向电工钢。目前已成功掌握该钢种的生产工艺技术，并且达到批量稳

* 收稿日期：2017－06－30

作者简介：武晓晶（1984－），男，内蒙古包头市人，工程师，现从事炼钢工艺研究工作。

中国知网 https://www.cnki.net

定生产，同时也在 CSP 生产线上尝试开发其它超低碳钢种。薄板厂 CSP 生产线新建的 RH 是由宝钢工程和罗马尼亚阿德莱姆公司联合设计制造，采用机械泵进行抽真空技术。

机械泵分四级 28 台。其中一级、二级分别为 8 台罗茨泵，三级 6 台罗茨泵，四级 6 台螺杆泵。罗茨泵的泵腔内，有二个“8”字形的转子，由于转子的不断旋转，被抽气体从进气口吸入到转子与泵壳之间的空间内，再经排气口排出。由于吸气后空间是全封闭状态，所以，在泵腔内气体没有压缩和膨胀。但当转子顶部转过排气口边缘，空间与排气侧相通时，由于排气侧气体压强较高，则有一部分气体返冲到空间中去，使气体压强突然增高。当转子继续转动时，气体排出泵外。干式螺杆真空泵，是利用一对螺杆，在泵壳中作同步高速反向旋转而产生的吸气和排气作用的抽气设备。在生产过程中，机械泵具有抽气速度快、极限真空度低的特点。

1　无取向硅钢钢包顶渣氧化性的变化

生产工艺流程：KR 脱硫→转炉→RH→CSP 铸机。

包钢无取向硅钢要求 w [C] 不超过 0.003 0%，仅依靠转炉吹炼无法实现，因此必须采用 RH 真空精炼装置进行深脱碳，这就要求转炉必须沸腾出钢，保证钢水中一定的 w [O]。目前包钢薄板厂生产无取向硅钢，转炉终点 w [O] 情况见图 1：

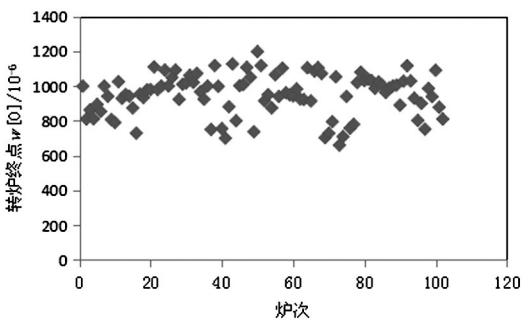


图 1　转炉终点 w [O]

结合转炉终点 w [O] 实际分布情况，以及生产实践总结、分析，转炉供 RH 钢水 w [O] 控制在 $(500 \sim 750) \times 10^{-6}$ 为宜，因此转炉终点氧在出钢过程中仍要降低至 RH 生产需求水平，方可满足 RH 生产工艺需求。

如此高的钢水 w [O]，使得钢水中的氧向渣中传递，致使钢包顶渣氧化性增加。转炉出钢结束向钢包渣表面加入铝质改质剂进行顶渣改质，其相关化学反应如下：

$$[O] + [Fe] = (FeO) \quad (1)$$

$$2AL + 3(FeO) = (Al_2O_3) + 3[Fe] \quad (2)$$

$$2AL + 3(MnO) = (Al_2O_3) + 3[Mn] \quad (3)$$

由于硅钢出钢过程不完全脱氧，钢水中 w [O] 较高，加入铝质改质剂后，可将渣中 w(FeO) 和 w(MnO) 脱至较低水平。依据氧在熔渣与钢液间的分配定律[1]：

$$L_0 = w(FeO) / w[O]$$

式中 L_0 为氧的分配比。

在随后的钢水运输和精炼处理过程，钢水中的氧会继续向渣中传递，即在钢水氧势较高的情况下，化学反应式(1) 在渣钢反应中占主导，致使转炉工序钢包顶渣改质效果不佳[2]。

根据现场生产数据总结，包钢薄板厂 RH 就位钢水 w [O] 分布情况具体见图 2：

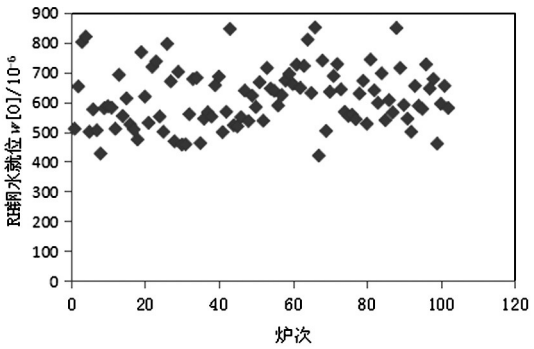


图 2　转炉供 RH 钢水就位 w [O]

RH 在脱碳处理后，残余 w [O] 依旧很高，达到了 400×10^{-6} 左右。脱去残余氧后，使得 w [Al_2O_3] 高。同时也由于钢水顶渣改质不理想，多种因素共同导致铸机频繁出现絮钢甚至絮死停浇。

因此原有的顶渣改质方式，即仅对转炉工序进行顶渣改质情况下，转炉工序进行顶渣改质后，虽然渣中 w(FeO) 可降低至 10% 左右，但随着钢水运输及精炼处理，钢水中的氧向渣中传递，渣中 w(FeO) 逐步增加，出站后增加至 15% 以上。由于转炉工序沸腾出钢，以及部分采用锰铁脱氧，使得渣中 w(MnO) 显著增加，经过改质可降低到 5% 以下，但由于钢水氧势较高以及 RH 处理过程的锰铁预脱氧和锰的合金化影响，导致 RH 出站渣中 w(MnO) 增加至 4% 左右。以 RH 离位顶渣中 w(FeO + MnO)

中国知网　https://www.cnki.net

来表征钢包顶渣的氧化性，研究发现钢包顶渣氧化性对RH离位及中间包钢水的 $w[O]_T$ 有着较强的作用，即顶渣 $w(FeO+MnO)$ 越高，RH离位和中间包钢水的 $w[O]_T$ 越高。因此，若想降低中间包钢水的 $w[O]_T$，必须降低RH离位时钢包顶渣的氧化性。

2 超低碳钢顶渣改质技术研究

鉴于只进行转炉工序钢包顶渣改质，并不能彻底解决硅钢RH离位时钢包顶渣氧化性高的实际情况，开发了无取向硅钢“两步法”顶渣改质工艺，即转炉工序钢包顶渣改质+RH工序钢包顶渣改质。

2.1 转炉工序钢包顶渣改质工艺

为了降低钢包顶渣中 $w(MnO)$，在转炉出钢过程不再进行锰铁的预脱氧，出钢过程仅采用稀释调渣法加入CaO基合成渣或小粒白灰，以提高钢包顶渣的碱度，加入量依据转炉下渣量做适当调整，但不宜过大，同时加入时刻应尽量提前，保证出钢结束能够充分融化。

出钢结束后应迅速向钢包渣表面加入改质剂，加入量首先按实际下渣量、改质白灰加入量估算总渣量，然后根据转炉终点渣 $w(FeO)$ 做适当调整。加入改质剂后，采用弱吹氩，吹氩时间不宜过长，能使改质剂充分融化即可。经过以上顶渣改质处理，转炉终点渣子成分发生了很大的变化，具体渣样成分见表1。

表1 转炉顶渣改质前后成分变化(质量分数) %

顶渣成分值		SiO_2	CaO	Al_2O_3	MnO	TFe
改质前	范围	10.09~17.27	35.83~43.89	1.05~4.73	4.08~6.30	11.01~22.65
	均值	12.99	40.18	2.18	4.78	16.21
改质后	范围	6.45~12.70	26.39~42.71	15.00~29.20	2.75~5.30	4.91~13.17
	均值	8.37	33.81	21.34	4.09	9.29

由表1看出，转炉顶渣改质前后 $w(FeO)$ 降低约7%，大大降低了顶渣的氧化性，但还有部分 $w(FeO)$ 高的炉次，在浇注过程中会污染钢水，产生轻微絮钢现象。因此，RH二次顶渣改质是十分有必要的。

2.2 RH工序钢包顶渣改质工艺

为了降低钢包顶渣中 $w(FeO)$ 及 $w(Al_2O_3)$，在尽量降低 $w(MnO)$ 的前提下，在RH工序采取预脱氧处理办法，通过预脱氧处理实现降低 $w(Al_2O_3)$ 和稳定 $w(MnO)$ 的目的。RH精炼处理结束后进行顶渣改质，改质方式一是利用专用容器添加顶渣改质剂，同时进行钙处理操作。由于在钢水运输和RH处理过程，钢水中的氧向渣中传递，致使钢包顶渣下部的渣中氧化性较强，加入改质剂可对此部分的顶渣进行改质，而加入合成渣的目的是重新造一层低氧化渣层，其处于原顶渣层下部，可起到隔离原顶渣作用，能够有效的阻止原顶渣中的氧向钢水中传递。

改质方式二是在RH处理刚结束，即上升管和下降管刚离开钢包液面时，向钢包内钢水、炉渣活跃区域投放改质剂，改质剂加入量按全部覆盖此区域即可。钢水经RH处理后，再进行一次顶渣改质，使得顶渣进一步得到改质优化，优化前后对比情况见表2。

表2 RH顶渣二次改质前后成分变化(质量分数) %

顶渣成分值		SiO_2	CaO	Al_2O_3	MnO	TFe
改质前	范围	6.45~12.70	26.39~42.71	15.00~29.2	2.75~5.30	4.91~13.17
	均值	8.37	33.81	21.34	4.09	9.29
改质后	范围	5.76~15.73	23.84~41.09	17.60~43.89	2.64~6.22	2.13~7.74
	均值	9.51	31.38	27.70	4.01	4.54

由表2看出，经过RH二次顶渣改质处理后，炉渣 $w(FeO)$ 降低约5%，$w(MnO)$ 也稳定在4%左右，钢水得以净化。

3 硅钢顶渣改质效果

“两步法”顶渣改质是采用转炉顶渣改质+RH顶渣改质两种改质方式的有机结合，“两步法”顶渣改质后，分析顶渣中 $w(FeO)$ 变化情况，对比原工艺和现工艺顶渣数据，结果见图3。

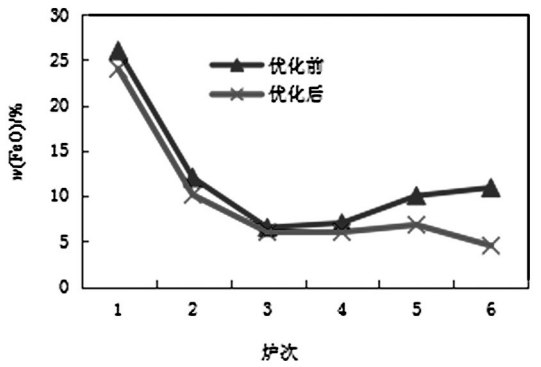


图3 优化前后顶渣 $w(FeO)$ 变化情况对比

采用新改质工艺后，RH离位时，钢包顶渣中 $w(FeO)$ 从10%左右控制在5%以下，(下转第33页)

中国知网 https://www.cnki.net

5　推广应用

包钢薄板厂生产的热轧双相钢主要用于载重卡车车轮的加工制造。厚度为 6.0 mm 的 DP540 及厚度为 11.0 mm 的 DP590 热轧双相钢分别用于生产轻量化车轮的轮辋和轮辐(见图 6),分别替代了原厚度 7.0 mm 的 SS400、厚度 14.0 mm 的 SS400 热轧钢带,使单个车轮减重 13.3%。使用结果表明,双相钢冲压成型性能好,在轮辋、轮辐制作加工过程中未出现原有热轧钢带的开裂、焊接性能不好等缺陷,而且采用双相钢制作的轮辋和轮辐可代替原来的 SS400。



图 6　热轧双相钢 DP540 在车轮中的应用

6　结论

(1) 改造后的超快冷系统—ADCOS - HSM,有效解决了 CSP 生产线超快冷系统冷却能力不足的问题。

(2) 改造后生产热轧双相钢 DP540 工艺控制稳定,钢带的金相组织为铁素体和马氏体,热轧双相钢金相组织和力学性能控制理想。

(3) 采用改造后的超快冷系统生产的热轧双相钢,经过用户使用,其冲压成型性能很好,符合用户轻量化用钢的要求。

参　考　文　献

[1] 利成宁,袁国,周晓光,等. 汽车结构用热轧双相钢的生产现状及发展趋势[J]. 轧钢,2012,29(5):38 - 42.

[2] 董瑞峰,李德刚,刘彦春,等. CSP 生产线开发 C - Mn 型热轧双相钢的生产实践[J]. 上海金属[J],2010,32(1):27 - 29.

(上接第 16 页)

w(MnO) 基本控制在 4% 左右。另外,随着顶渣氧化性的降低,在生产实际中发现,中间包 $w[O]_T$ 也较低,基本控制在 20×10^{-6} 以下。

4　结论

(1) 无取向硅钢生产时,转炉出钢采用不完全脱氧,导致钢中的氧向渣中传递,是转炉工序钢包顶渣改质效果不佳的主要原因。

(2) 采用转炉工序钢包顶渣改质 + RH 工序钢包顶渣改质两步法顶渣改质工艺,同时在转炉工序不进行锰的预脱氧和合金化、在 RH 脱碳前期进行部分锰合金化,可将超低碳钢在 RH 出站后,将钢包顶渣中 w(FeO) 降低至 5% 以下,稳定 w(MnO) 在 4% 左右。

(3) 采用两步顶渣改质工艺,可将超低碳钢的中间包钢水 $w[O]_T$ 控制在 20×10^{-6} 以下,显著的提高了超低碳钢的洁净度。

参　考　文　献

[1] 陈家祥. 炼钢常用图表数据手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2010.

[2] 李伟东,辛国强,王向辉. 未完全脱氧钢水顶渣氧化性初探[J]. 安徽工业大学学报,2005,(10):605.

中国知网　https://www.cnki.net