

Optimization of Secondary Refining Process for the Cleanness Controlling of IF Steel

Peng Fei, Yi Min*, Chengjun Liu, Maofa Jiang

Key Laboratory for Ecological Metallurgy of Multimetallic Mineral (Ministry of Education),
School of Metallurgy, Northeastern University, Shenyang Liaoning
Email: *miny@smm.neu.edu.cn

Received: Aug. 2nd, 2017; accepted: Aug. 30th, 2017; published: Sep. 6th, 2017

Abstract

Focused on the problem of high defect rate of cold rolled plate, based on the analysis of history industrial data and the results of industrial experiments, the modification technology was optimized and the circulation time after alloying in RH refining process and the standing time after RH refining were determined to enhance the cleanness of the IF liquid steel. Results showed that, after process optimization, the FeO content in ladle slag can be controlled less than 10% steadily, the total oxygen content in liquid steel can be controlled less than 30 ppm (average content 24.3 ppm). Moreover, the average defect rate of cold rolled plate induced by the Al₂O₃-base inclusion decreased from 0.78% to 0.62%.

Keywords

IF Steel, Cleanness, Surface Defect, Process Improvement

基于洁净度控制的IF钢精炼工艺优化

费 鹏, 闵 义*, 刘承军, 姜茂发

东北大学冶金学院, 多金属共生矿生态化冶金教育部重点实验室, 辽宁 沈阳
Email: *miny@smm.neu.edu.cn

收稿日期: 2017年8月2日; 录用日期: 2017年8月30日; 发布日期: 2017年9月6日

摘 要

针对IF (Interstitial Free)钢冷轧板缺陷发生率较高的问题, 在历史生产数据分析和工业试验基础上, 以钢水洁净度控制为目标, 优化了钢包渣改质工艺、确定了合适的RH合金化后钢水净循环时间、钢水静置

*通讯作者。

时间。结果表明,工艺优化后,钢包渣FeO含量可稳定控制在10%以下;钢水洁净度提高明显,全氧含量可以稳定控制在30 ppm以下,平均为24.3 ppm;由Al₂O₃基夹杂物引起的冷轧板缺陷发生率由优化前的平均0.78%降低到优化后的平均0.62%。

关键词

IF钢, 洁净度, 表面缺陷, 工艺优化

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. 前言

IF钢具有良好的延展性、冷变形性、焊接性等优点,已经成为汽车面板的主要用钢。我国IF钢研制开发以来,生产工艺已经逐渐发展成熟,但提高冷轧板成材率一直是生产企业最求的目标。冷轧板表面缺陷是影响冷轧板成材率的关键因素,而冷轧板表面缺陷的发生与钢水洁净度即非金属夹杂物密切相关[1][2][3][4][5]。

国内某钢铁公司采用DS → LD → RH → CC(铁水预处理脱硫 → 转炉吹炼 → RH真空精炼 → 连铸)工艺生产IF钢,已经形成了批量生产能力。本文根据该厂进一步提高冷轧板成材率的要求,在钢水洁净度影响因素调研的基础上,对IF钢精炼工艺进行了优化。从夹杂物产生角度,主要对钢包渣氧化性和RH铝氧升温进行优化控制;从夹杂物去除角度,主要对RH脱氧合金化后净循环时间和钢水静置时间进行了优化,取得了较好的控制效果。

2. 研究方法

本文主要采用工业生产过程采样分析的方法,寻找IF钢冶炼过程工艺参数与钢水洁净度的相互关系,通过分析确定精炼工艺优化方向。研究以DC04牌号IF钢为目标钢种进行,其主要化学成分如表1所示,精炼过程涉及到的主要取样方法及检测分析方法如下:

1) 渣样:分别在转炉冶炼终点、RH精炼前后蘸取渣样,粉碎制样后采用ARL 9900XP型X射线荧光光谱仪测定渣样成分。

2) 钢水样:主要在RH净循环结束后和钢水静置结束后取样,采用工业生产饼样取样器,采用ELTRA-ONH2000氧氮联合分析仪测定全氧含量。

3) 冷轧板缺陷检测:跟踪相关炉次冷轧板缺陷检测结果,重点确认和关注非金属夹杂物导致的缺陷,并与对应冶炼炉次相关联。

3. 结果分析与讨论

3.1. 钢包渣氧化性控制

钢包渣氧化性对钢水洁净度具有重要影响,钢包渣氧化性主要以渣中FeO含量作为衡量指标。对于IF钢来说,为典型的铝脱氧钢,如果顶渣FeO含量较高,在渣金界面处将持续与钢水中的铝反应,界面附近钢水溶解氧含量升高[6][7][8],并随钢水循环而在钢包内扩散,进而与溶解铝反应生成Al₂O₃夹杂,难以实现较高洁净度。为明确钢包渣氧化性与钢水洁净度和冷轧板缺陷间的定量关系,对IF钢生成进行了

Table 1. Controlling range of chemical composition of IF steel of DC04 grade (mass, %)**表 1.** DC04 牌号 IF 钢化学成分(质量百分数, %)

元素	C	Si	Mn	P	S	Als	Ti	Nb
含量	≤0.003	≤0.03	0.08~0.015	0.015~0.025	≤0.012	0.01~0.05	0.03~0.05	0.02~0.03

跟踪, 以期为钢包渣氧化性控制提供指导。冷轧板表面缺陷产生的原因主要包括非金属夹杂物和设备因素, 其中非金属夹杂物可细分为铝基夹杂(与铝脱氧产物 Al_2O_3 相关)和含钠钙硅基夹杂(与结晶器卷渣相关) [9], 本文中冷轧板缺陷均指判定为铝基夹杂物所导致。

图 1 显示了所跟踪的 29 个炉次的钢包渣 FeO 含量与静置后钢水全氧含量的对应关系。图 1(a)和图 1(b)分别为钢包渣 FeO 含量与钢水全氧含量的分布情况, 对比可以看出, 钢包渣 FeO 含量与钢水全氧含量的变化具有显著的一致性, FeO 含量高, 所对应的钢水全氧含量也较高。图中数据显示, 当钢包渣中 FeO 含量小于 10% 时, 钢水中全氧含量可控制在低于 30 ppm 的水平。图 2 为相关于顶渣 FeO 含量的板坯投料量分布及冷轧板缺陷率。从图 2(a)可以看出, 投料板坯所对应的钢包渣 FeO 含量主要集中在 5%~15% 之间, 其中 FeO 含量大于 10% 所占比例接近 65%。从图 2(b)可以看出, 冷轧板缺陷率随着钢包渣 FeO 含量的升高而升高。综合钢包渣 FeO 含量与钢水全氧含量和冷轧板缺陷率认为, 将钢包渣中 FeO 含量控制在 10% 以下有利于使夹杂导致的冷轧板缺陷率保持在较低水平。

钢包渣氧化性与转炉终点渣 FeO 含量、转炉下渣量和钢包渣改质工艺与效果密切相关。该厂在前期 IF 钢冶炼工艺开发工程中, 在转炉终渣 FeO 含量控制方面, 通过优化转炉底吹模型等措施, 一般可将 IF 钢终渣 FeO 含量控制在 20%~23% 范围内; 对于下渣量控制, 采用了滑板挡渣技术, 基本可将下渣量稳定控制在吨钢 5 kg 以内。该厂采用在出钢结束后加入金属铝基钢包渣改质剂的方法来降低钢包渣氧化性, 分析认为钢包渣氧化性波动的原因主要与钢包渣改质工艺有关: 一方面, 改质剂往往在出钢结束前就开始加入, 部分改质剂作用于钢水脱氧而未与钢包渣反应; 另一反面, 没有考虑转炉终渣氧化性的变化, 而是采取固定量加入改质剂。基于此, 在严格执行改质剂加入时机的前提下, 根据转炉终点钢水氧含量调整改质剂加入量, 并在 RH 增加了二次改质工序, 以提高改质效果。采用优化的钢包渣改质工艺后, 对 55 个炉次进行了质量跟踪, 结果表明, 钢包渣 FeO 含量控制在 10% 以下的为 50 炉; 静置结束后钢水全氧含量高于 30 ppm 的为 6 炉; 板坯投料量为 11,071.66 吨, 冷轧板缺陷率由优化前的 0.78% (图 2 中数据均值)降低到 0.69%, 取得了较好的控制效果。

3.2. 钢水净循环与静置时间控制

在 IF 钢 RH 精炼过程中, 脱碳结束后, 相继进行脱氧与合金化操作, 之后进行钢水净循环, 该阶段的主要目的是依靠钢水环流使脱氧产物碰撞长大继而上浮去除, 但此阶段对于钢中细小夹杂物的去除效果较差, 钢水还需在 RH 精炼结束后静置一段时间以使细小夹杂物上浮去除。合适的净循环时间和静置时间是控制钢水洁净度的必要环节。但在实际生产中并没有明确的工艺规定, 特别是在生产节奏紊乱时, 钢水洁净度及其稳定性无法得到保证。为此, 需要对二者进行优化设计。

1) RH 合金化后钢水净循环时间

为考察 RH 合金化之后夹杂物的去除效果, 针对三个冶炼炉次, 在合金化后间隔 3 分钟取样并分析试样的全氧含量。图 3 为钢水全氧含量随时间的变化情况。从图中可以看出, 在合金化后 6~9 min 之间, 夹杂物的去除速度发生转变, 在此段时间之前, 夹杂物去除效率较高, 这与初期夹杂物数量密度较大而更易于碰撞聚合长大去除有关; 而在此段时间之后, 夹杂物去除速率逐渐降低。据此, 考虑生产节奏的影响, RH 脱氧合金化后的净循环时间由原来的 3 min 延长至 6~9 min 将更有利于促进非金属夹杂物的加速去除。

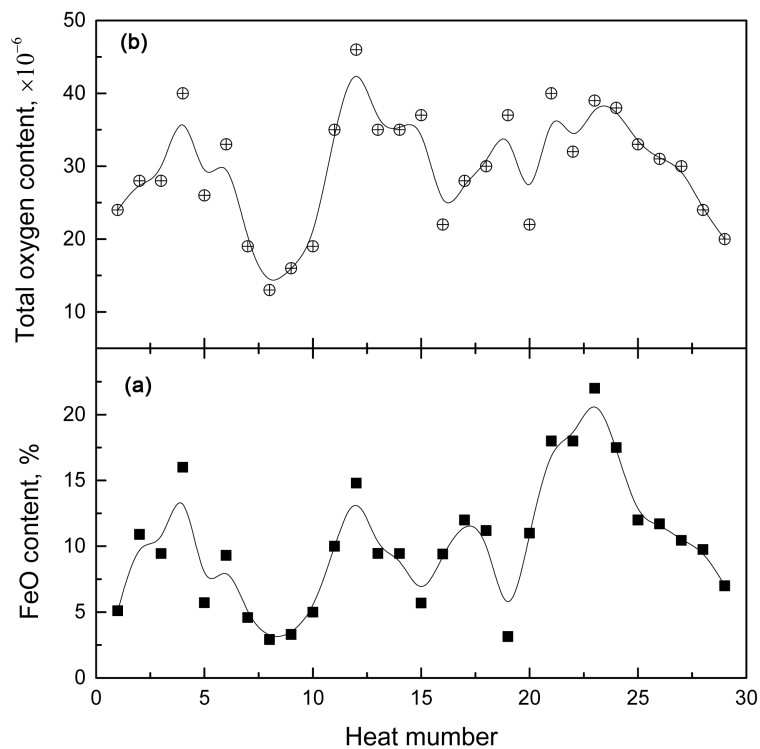


Figure 1. Effect of FeO content in ladle slag on the total oxygen content in liquid steel after standing
图 1. 钢包渣 FeO 含量对静置后钢水全氧含量的影响

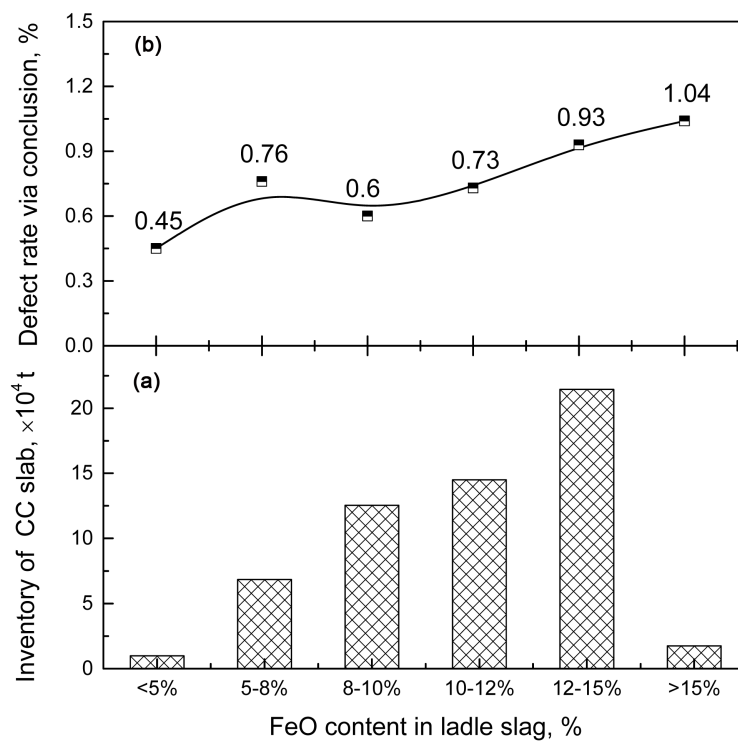


Figure 2. Distribution of inventory of CC slab and the defect rate of cold rolled plate on FeO content in ladle slag

图 2. 关于 FeO 含量的板坯投料量分布与冷轧板缺陷率

2) RH 处理后钢水静置时间

图 4 为该厂前期生产的 IF 钢冷轧板缺陷率与静置时间的对比情况,各静置时间所涉及的连铸板坯投料量也标注于图中。从图中可看出,冷轧板缺陷率随静置时间的延长显著降低。当钢水静置时间达到 30 min 以上时,冷轧板缺陷率最低为 0.36%。当静置时间超过 35 min 后,冷轧板缺陷率反而有所升高,

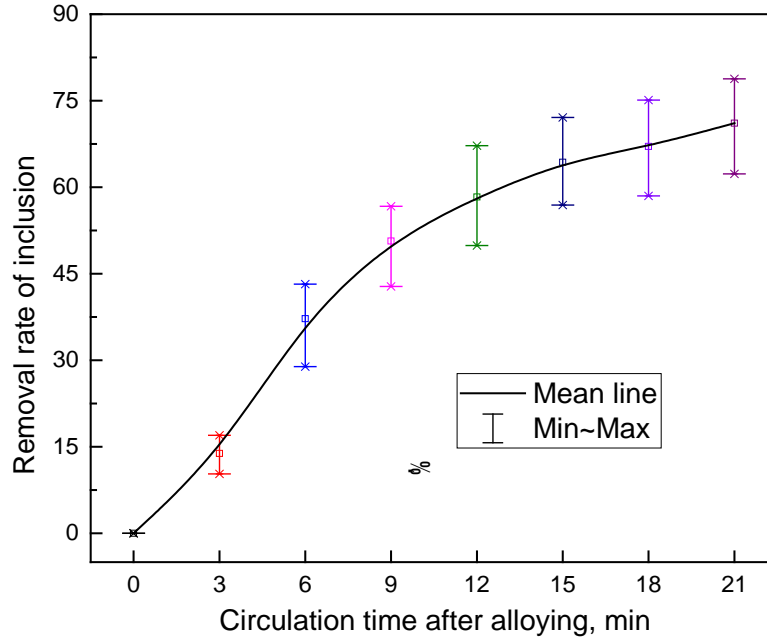


Figure 3. Variation of inclusion removal rate with circulation time after alloying
图 3. 夹杂物的去除率随钢水净循环时间的变化趋势

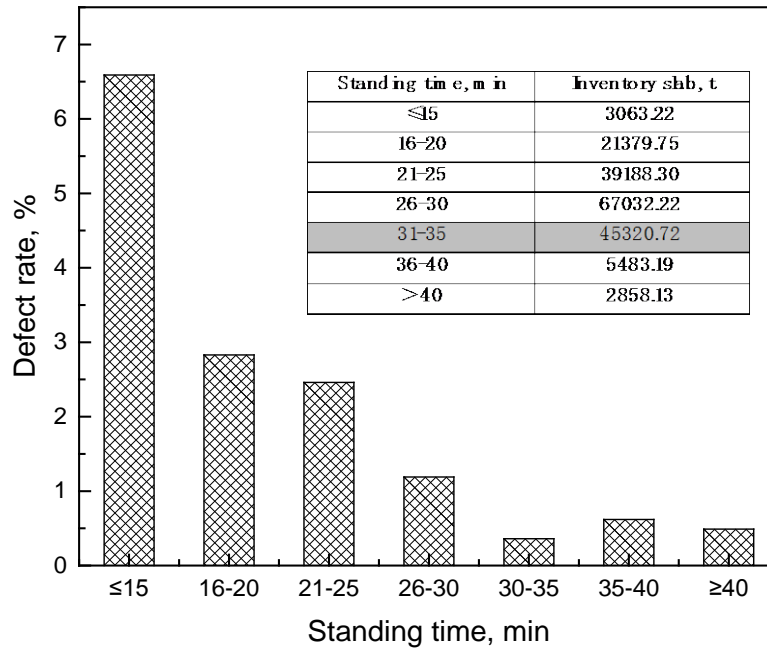


Figure 4. Relationship between defect rate of cold rolled plate and standing time after RH refining (table in the figure shows the inventory of CC slab about different standing time)
图 4. 冷轧板缺陷率与钢水静置时间的关系(图中表格为对应静置时间的板坯投料量)

这可能与静置时间过长所导致的钢水降温过大、拉速升高、结晶器内夹杂物上浮去除率降低有关。综合考虑静置时间对钢水洁净度和温降的影响, RH 精炼后钢水静置 30~35 min 较为合适。

为保证 RH 合金化后净循环时间与 RH 精炼后静置时间, 与转炉冶炼、连铸工序协调匹配, 细化了各工序操作规程, 以保证生产节奏的稳定。采用新的操作规程后, 同样对 55 个炉次进行了质量跟踪, 结果表明, 100% 炉次实现了 6~9 min 的钢水净循环时间, 超过 85% 炉次实现了 30~35 min 的静置时间, 钢中全氧含量控制在 30 ppm 以下的比例为 96.3%, 平均全氧含量为 24.3 ppm; 冷轧板缺陷率在钢包渣改质工艺优化的基础上进一步降低到 0.62%。

4. 结论

为进一步降低 IF 钢冷轧板缺陷率, 本文根据历史生产数据分析和工业试验结果, 优化了 IF 钢精炼工艺, 得到主要结论如下:

- 1) 优化了钢包渣改质工艺, 在考虑转炉终渣氧化性的基础上, 增加了 RH 二次改质工艺。
- 2) 合适的 RH 合金化后钢水的净循环时间为 6~9 min, RH 精炼后钢水静置时间为 30~35 min。
- 3) 工艺优化后, 超过 90% 的炉次钢包渣 FeO 含量可控制在 10% 以下, 钢水全氧含量平均为 24.3 ppm, 铝基夹杂导致冷轧板缺陷率由 0.78% 降低到 0.62%。

基金项目

国家自然科学基金资助项目(51374060, 51674069); 国家重点计划资助项目(2017YFC0805102)。

参考文献 (References)

- [1] Matsuura, H., Wang, C. and Wen, G.H. (2007) The Transient Stages of Inclusion Evolution during Al and/or Ti Additions to Molten Iron. *ISIJ International*, **47**, 1265-1274.
- [2] Vanende, M.A., Guo, M.X., Dekkers, R., *et al.* (2009) Formation and Evolution of Al-Ti Oxide Inclusions during Secondary Steel Refining. *ISIJ International*, **49**, 1133-1140.
- [3] 张锦刚, 蒋奇武, 刘沿东, 等. Ti-IF 和 Ti+Nb-IF 钢铁素体区热轧组织和织构特征[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2005, 26(10): 968-971.
- [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): 59-61.
- [5] 黄健, 闵义, 姜茂发, 刘承军. IF 钢生产过程非金属夹杂物的演变行为[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2013, 34(3): 368-372.
- [6] 舒宏富, 刘浏, 刘学华. 钢包顶渣改质对 IF 钢夹杂物的影响[J]. 炼钢, 2016, 32(3): 55-59.
- [7] 索金亮, 王新华, 李林平, 等. 氧化性炉渣对 IF 钢洁净度的影响[J]. 炼钢, 2016, 32(6): 62-68.
- [8] Sun, H.P. and Mori, K. (1996) Oxidation Rate of Aluminum in Molten Iron by CaO-SiO₂-Al₂O₃-FeO-MnO Slag. *ISIJ International*, **36**, 34-37.
- [9] 罗衍昭, 季晨曦, 邓小旋, 等. 优化保护渣提高超低碳 IF 钢表面质量[J]. 钢铁, 2017, 52(4): 38-43.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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

期刊邮箱：meng@hanspub.org