

Research on Improvement of Humidification System for Decarburization and Nitriding Coated with Magnesium Oxide Unit

Jiangwei Tian Jihong Peng

Angang Southern Electromagnetic New Material Technology Co., Ltd., Anyang, Henan, 455000, China

Abstract

The decarburization and nitriding process with magnesium oxide coating is a critical step affecting the magnetic properties of grain-oriented silicon steel, and the stability of the humidification system directly determines the effectiveness of this process. This paper addresses issues such as low humidity control precision and slow response time in the humidification system of a decarburization, nitriding, and magnesium oxide coating line in a specific plant, and implements several improvements. By optimizing the structure of the humidification tank, enhancing water temperature control, and improving system control logic, precise regulation of the atmosphere humidity was achieved. Experimental results show that the improved system can stably control the carbon content during the decarburization annealing process to ≤ 20 PPM, while simultaneously achieving the target ranges for nitrogen content (160-270 PPM) and oxygen content (600-950 PPM). This provides technical support for the stable production of high-permeability grain-oriented silicon steel.

Keywords

Grain-oriented silicon steel; Decarburization annealing; Nitriding treatment; Humidification system; Humidity control.

脱碳渗氮涂氧化镁机组加湿系统改进的研究

田江伟 彭继宏

安钢南方电磁新材料科技有限责任公司, 中国·河南 安阳 455000

摘要

取向硅钢的脱碳渗氮涂氧化镁是影响其磁性能的关键工序, 其中加湿系统的稳定性直接决定了脱碳渗氮效果。本文针对某厂脱碳渗氮涂氧化镁机组加湿系统存在湿度控制精度、响应时间等问题, 做了一些改进。通过改进加湿槽结构、完善水温控制、系统控制优化等, 实现了对气氛湿度的精确调控。试验表明, 改进后系统可将脱碳退火过程中碳含量稳定控制在 ≤ 20 PPM, 同时使氮含量和氧含量控制分别达到160-270PPM和600-950PPM的目标范围, 为高磁感取向硅钢的稳定生产提供了技术保障。

关键词

取向硅钢; 脱碳退火; 渗氮处理; 加湿系统; 湿度控制

1 引言

高磁感取向硅钢(HIB)因其优异的磁性能, 被广泛应用于变压器铁芯制造。其生产过程中, 脱碳渗氮处理是决定磁性能的关键环节。在这一工序中, 气氛湿度的精确控制直接影响脱碳渗氮效果。

目前, 国内多数取向硅钢生产线采用的加湿系统普遍存在控制精度不足、响应滞后等问题, 导致产品性能波动较大。本文基于某钢铁企业取向硅钢生产线的实际运行数据, 对脱碳渗氮涂氧化镁机组的加湿系统进行改进研究, 旨在提

高湿度控制精度, 优化工艺稳定性, 进而提升产品磁性能。

2 脱碳渗氮工艺及加湿系统现状分析

2.1 工艺流程概述

高磁感取向硅钢的脱碳退火工艺主要包括以下步骤: 开卷→入口活套→清洗→退火炉(脱碳渗氮)→冷却段→出口活套→氧化镁涂层系统→干燥炉→卷曲。其中, 脱碳退火工序在退火炉内完成, 需要精确控制炉内气氛组成和湿度。

根据工艺要求, 脱碳渗氮处理的典型参数为: 氨气流量 6-20m³/h、加湿系统温度 30-70℃、脱碳温度 780-880℃、机组速度 45-75m/min、气氛中氢气比例 20-60%、氮气比例 40%-80%。处理后材料的碳含量 ≤ 30 PPM, 氮含量 100-350PPM, 氧含量 500-1000PPM。

【作者简介】田江伟(1988—), 男, 中国河南西平人, 本科, 工程师, 从事电气自动化研究。

2.2 原加湿系统存在的问题

原加湿系统主要采用蒸汽直接喷射，在实际运行中存在以下问题：

(1) 湿度响应滞后：从调节信号发出到炉内湿度实际变化存在 3-5 分钟延迟，难以适应机组速度变化时的快速响应需求。

(2) 控制精度不足：冬季冷凝水多，露点波动大，无法满足高磁感产品对露点波动 $\leq \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的要求。

(3) 维护不便：鲍尔环易堵塞，加湿槽结垢严重，影响系统稳定运行。

3 加湿系统改进方案

3.1 加湿槽结构优化

针对原有加湿槽存在的温度分布不均、蒸发效率低等问题，对加湿槽结构进行以下改进：

改进加湿槽内鲍尔环密度分布，增加出口电加热器控温，炉区分支管道增加电伴热带，保证温控精准，严格控制露点。

自动排污系统：在槽底设置定期排污装置，配合在线水质监测仪，当电导率超过设定值时自动启动排污和补水程序，防止结垢。

3.2 水温精确控制策略

加湿槽水温是影响气氛湿度的关键参数，根据工艺要求，水温需控制在 30-70 $^{\circ}\text{C}$ 范围内。改进方案采用串级控制系统：

主控制器：以炉内露点实测值作为主控变量，采用优化 PID 参数，控制输出水温。引入机组速度等前馈信号，在工况变化前提前调整水温设定值，减小动态偏差。

3.3 系统控制优化

考虑到脱碳渗氮过程是多参数耦合的复杂热工过程，单纯控制湿度难以保证最终产品质量。因此，改进系统集成了多参数耦合控制功能：

气氛成分协同控制：根据实测的氢气、氮气流量和氨气注入量，实时计算混合气体的热导率和露点，动态调整加湿量，确保分压比。

温度 - 湿度解耦控制：建立炉温与湿度的耦合模型，当炉温调整时，自动补偿湿度设定值，避免因温度变化导致的实际湿度波动。

氨气流量自动调整：根据渗氮效果检测结果，优化氨气流量与加湿量的配比，使氮含量稳定在 100-350PPM 目标范围内。

3.4 设备改进

为实现上述控制策略，对加湿系统关键设备进行升级：

设备名称	改进前配置	改进后配置	主要改进点
加热装置	蒸汽盘管加热	电加热 + 余热回收	分区控制，提高热效率
湿度检测	离线取样分析	露点分析仪	实时监测，精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
控制系统	气动调节阀	气动调节阀 + 变频水泵	调节精度提升至 0.5%
电伴热系统	主回路电伴热 + 电加热器调功控制	主回路 + 分支回路电伴热 + 出口电加热器	降低蒸汽含水量，温控更加精准
氨气系统	液氨气化站 + 气动调节阀 + 流量计	液氨气化站蒸发器扩容	稳定氨气气源 + 流量控制精准化

4 改进效果分析

4.1 控制精度提升

改进后的加湿系统在某企业 1030mm-1250mm 取向硅钢生产线进行了为期 6 个月的工业试验。结果表明：

炉内露点控制精度由原来的 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 提升至 $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ ，满足高端产品工艺要求

系统响应时间由 3-5min 缩短至 1.5min 以内，适应了机组速度频繁调整的需求

加湿槽水温波动范围由 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 降低至 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，温度分布均匀性显著改善

4.2 产品质量改善

对改进前后生产的各 30*3 (一批次 30 卷，共 3 批次) 卷高磁取向硅钢进行抽样检测，结果显示：

碳含量平均值由改进前的 38PPM 降至 16PPM，且全部 $\leq 25\text{PPM}$

氮含量控制范围由 100-350PPM 收窄至 160-270PPM，

目标命中率由 70% 提升至 88%

氧含量稳定在 600-950PPM 区间，满足 500-1000PPM 的工艺要求。图一图二为该进后数据对比。

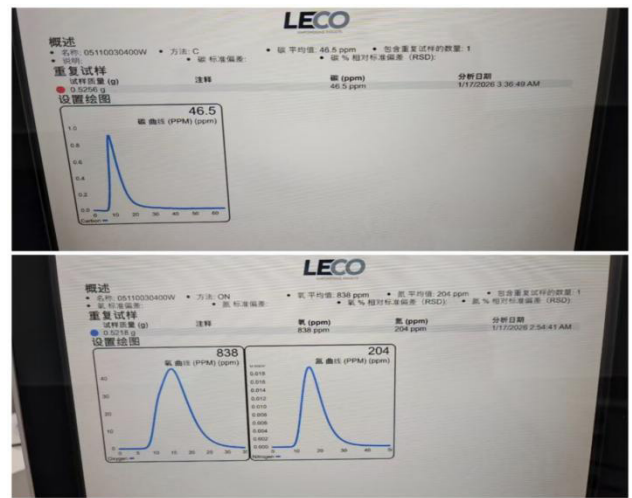


图 1 改进前

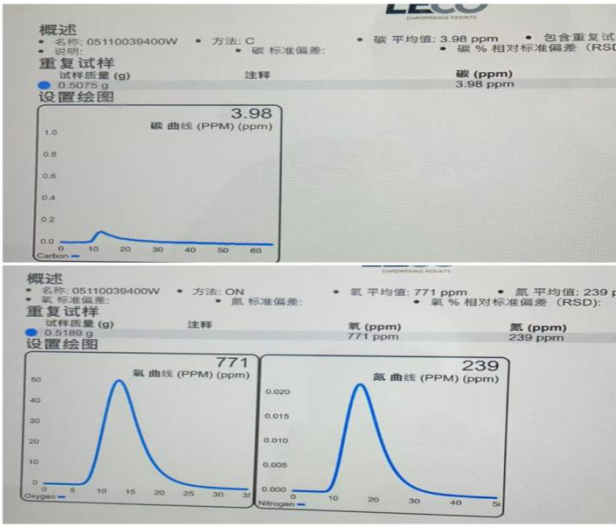


图 2 改进后

4.3 能耗与维护成本降低

蒸汽消耗量减少 45%，综合能耗下降 28%
 加湿槽清洗周期由每周 1 次延长至每月 1 次
 因喷头堵塞导致的停机时间减少 90%

5 结语

本文针对脱碳渗氮涂氧化镁机组的加湿系统进行了系

统性改进研究，主要结论如下：

(1) 通过加湿槽结构优化、水温精确控制和多参数耦合控制策略，有效解决了原系统存在的湿度控制精度低、响应滞后等问题。

(2) 改进后系统可将炉内露点控制精度提升至 $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ ，使产品碳、氮、氧含量稳定控制在目标范围内，磁感值达到 1.92T 以上。

(3) 改进后加湿系统在降低能耗、减少维护成本方面效果显著，具有较好的经济效益和推广应用价值。

后续研究可进一步探索基于大数据分析的智能控制模型，实现加湿系统与前后工序的协同优化，为取向硅钢生产智能化升级提供支撑。

参考文献

- [1] 蒋奇武,王晓达,游清雷,等.取向硅钢二次再结晶机制的研究[J].鞍钢技术,2023(2):1.
- [2] 蔡子祥,卢锋岗,吴世东,等.一种高磁感取向硅钢的脱碳退火工艺:CN202110441863.2[P].2021-08-13.
- [3] 张凤泉,张维林,孙文权.我国冷轧硅钢近10年发展现状及方向研究[J].电工钢,2024,6(4):1.
- [4] 严国春,何承绪,孟利,等.取向硅钢表面氧化层的结构及其对渗氮的影响[J].材料工程,2015,43(12):89.