 DOI: https://doi.org/10.12349/mit.v3i2.11070

Optimization of Induction Differential Temperature Quenching Process and Automation Transformation of Spray Quenching System

Junliang Xing[1] Min Wan[2]

1. Zhonggang Group Xingtai Rolling Rotor Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054000, China
2. Hebei Institute of Mechanical and Electrical Technology, Xingtai, Hebei, 054000, China

Abstract

To address the problems of poor hardness uniformity and large product quality fluctuations of the centrifugal composite rolling rods during the induction differential temperature quenching and spray cooling processes due to high reliance on manual operation, this study focuses on two dimensions: heating uniformity and cooling consistency. By establishing a database of end heating coefficients to correct the power curve and optimizing the temperature measurement points; at the same time, the spray cooling system is transformed into an automated system, introducing RO reverse osmosis water purification, electromagnetic valve group linkage, and pre-ventilating synchronous control technology. Batch production verification shows that the qualified rate of the rolling rod's temperature uniformity after quenching and cooling ≤ 10℃ reaches 100%, and the hardness uniformity of the rolling rod after improvement is 10.75% higher than that before improvement. Conclusion: This process optimization scheme realizes the automation and unmanned monitoring of the heat treatment process, significantly improves the quality stability of high-end hot-rolled rolling rods, and has significant industry promotion value.

Keywords

centrifugal composite rolling rod; induction differential temperature quenching; spray cooling; hardness uniformity; automation transformation

感应差温淬火工艺优化及喷淬系统自动化改造

邢军亮[1] 万敏[2]

1. 中钢集团邢台机械轧辊有限公司，中国 · 河北 邢台 054000
2. 河北机电职业技术学院，中国 · 河北 邢台 054000

摘 要

为解决离心复合轧辊在感应差温淬火及喷淬冷却过程中因人工操作依赖度高导致的辊身硬度均匀性差、产品质量波动大的问题，从加热均匀性与冷却一致性两个维度入手，通过建立端部加热系数数据库修正功率曲线，优化测温点位；同时对喷淬冷却系统进行自动化改造，引入RO反渗透净水、电磁阀组联动及预送风同步控制技术。批量生产验证表明，改进后轧辊淬火冷却后辊身温度均匀性≤10℃的合格率达到100%，辊身硬度均匀性较改进前提升了10.75%。结论 该工艺优化方案实现了热处理过程的自动化与无人化监控，显著提升了高端热轧轧辊的质量稳定性，具有显著的行业推广价值。

关键词

离心复合轧辊；感应差温淬火；喷淬冷却；硬度均匀性；自动化改造

1 引言

离心复合轧辊是热轧生产线的关键耗件，辊身硬度及其均匀性直接决定板材表面质量、轧制精度与轧辊服役寿命。近年来，以 ESP、MCCR、CEM 为代表的新一代薄板坯连铸连轧技术快速普及，“薄规格、高强度”板材轧制对轧辊耐磨性和均匀性提出来极致需求。

当前离心轧辊感应差温淬火与喷淬冷却工序高度依赖人工操作，存在加热功率分布不均、冷却启停不同步、冷却水杂质堵塞喷嘴等问题，导致辊身硬度波动大、均匀性差，成为制约产品升级、智能制造的瓶颈。本文围绕感应加热与淬火冷却全流程开展一致性优化与自动化改造，系统提升辊身硬度均匀性与产品合格率。

2 热处理淬火现状与问题分析

2.1 感应加热过程问题

部分产品在感应加入出炉后辊面温度与颜色不均：感应差温处理后辊面呈现明暗交替分布，见图 1，产品表面温度均匀性差，检测温差最大达到 10℃。

【作者简介】邢军亮（1981–），男，中国河北邢台人，本科，工程师，从事材料科学与工程研究。



图 1 感应差温后辊面颜色不匀

2.2 淬火冷却过程问题

1. 喷雾启、停响应慢，各喷嘴动作不同步，如图 2，喷雾开始时，各个喷嘴出雾大小和时机不一致，会导致辊身各部位冷却速率不一致；

2. 冷却水为自来水，含杂质与水垢，小口径喷嘴易堵塞，造成个别喷嘴喷雾效果差，影响产品冷却均匀性；

3. 排水、送风依赖现场手动操作阀门，作业空间狭小、可视性差，操作一致性难以保证；

4. 若高压风包冷凝水排放不及时，会影响风嘴风量，导致产品冷却不均。



图 2 淬火起始及结束时喷雾不均匀

3 质量改进方案与实施

3.1 感应加热过程改进，辊面颜色不均治理

通过现场跟踪与功率—温度曲线分析，见图 3 差温功率曲线，功率曲线在最后保温阶段功率呈分层分布，功率最大在端部相邻区域，从辊身两端加热区向辊身中部相邻区呈高低、高低分布，辊身中部趋于一致。

感应差温产品基于辊身长度 L 与端距 S，建立端部加热系数 K 的函数关系：K=f(L,S)，并将阈值设定为 1.1，按此推断端部功率应是最大。但从现场跟踪过程及统计结果来看，轧辊出感应差温后辊面颜色不均，与感应差温过程不同加热区功率曲线分层对应，此类产品功率最大区域不是端部，而是与端部相邻区域，因此造成辊面颜色不均的原因是感应差温保温过程不同加热区功率偏差大造成的，根本原因是端部系数设计偏低，造成实际端部加热区温度偏低，需要与端部相邻加热区需要提高功率来对端部温度进行补偿，最终形成了相邻加热区功率曲线成高低、高低分布，与出炉后辊面颜色亮暗、亮暗分布。

改进措施：首先在实际生产过程中，发现不同加热区功率分层分布时，手动逐步提高端部加入系数，直至各加热区功率趋于一致。其次根据生产过程中调整数据建立辊身长度、端部距离与端部加热系数对应数据库，将系数＜ 1.1 的规格统一上调，根据数据库重新设计端部加热系数，消除相邻区域过补偿实现自动控制下各区功率平稳一致。

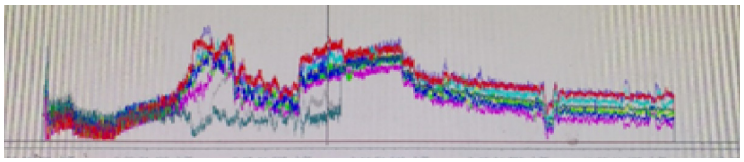


图 3 差温功率曲线

3.2 淬火冷却过程自动化改造

1. 自动排水控制：手动排水阀改为电磁阀，分组联动，由控制系统按工艺曲线自动执

行，实现远程自动控制。

2. 高压风干燥与自动排水：完善送风干燥系统，增加风包冷凝水自动排放装置，稳定风量供应。

3. 冷却水净化：配置 RO 反渗透软水设备与自动补水、增压系统，提供纯净稳定冷却水，杜绝喷嘴堵塞。

4. 喷雾同步控制：增设独立预送风系统与喷嘴挡板，实现先送风稳压、再同步出雾，保证启、停时刻全辊身冷却条件一致。

4 改进效果验证

经批量生产跟踪与理化检测，改进后实现全流程自动化、一致性控制，关键指标显著提升：

感应加热功率曲线无明显分层，辊面温度与颜色均匀，见图 4 和图 5；



图 4 改进后感应差温后辊面颜色均匀

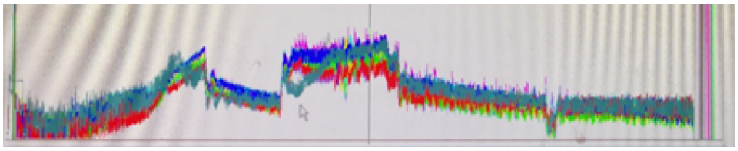


图 5 改进后差温功率曲线

2. 淬火冷却启、停同步，喷嘴无堵塞，冷却分布均匀；

3. 差温冷却后温度均匀性≤ 10℃，合格率 100%；

4. 辊身硬度均匀性≤ 4HS 合格率提升 10.75%。

5 结论

1. 离心复合轧辊辊身硬度不均的主要原因是：感应加热端部系数不合理、淬火冷却不同步及冷却水水质差。

2. 优化端部加热系数，可显著提升感应加热均匀性。

3. 喷淬系统自动化改造、软水净化、喷雾同步控制，可有效保障冷却一致性。

4. 改进后热处理线达到自动化、一致性、无人化监控水平，满足高端热轧用离心复合轧辊质量要求，具备行业推广价值。

参考文献

[1] 迟京东，李全功。钢铁工业三十年投资和发展 [C]// 投资建设三十年回顾——投资专业论文集 (4). 2008.

[2] 毛新平。探索与思考——薄板坯连铸连轧技术三十年 (1989–2018)[M].

[3] 陈生福。感应淬火的冷却技术探讨 [J].金属热处理, 2010.

[4] 陈再良，闫承沛。先进热处理制造技术 [M]. 2002.

[5] 乔健，马香梅。我国感应加热处理技术发展愿景及实施措施研究 [J]. 1988.

[6] 姜建华。连续感应加热处理电磁场、温度场模拟研究 [J]. 2001.