

硅钢产线退火炉炉辊结瘤的成因与处理措施

郭晓松, 冯海涛

(内蒙古包钢钢联股份有限公司制造部, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 无取向硅钢的表面质量要求很高, 不允许表面存在凹坑、色差等缺陷, 否则影响正常使用。表面凹坑在表面质量缺陷中占有较大比例, 影响产品交付和经济效益。分析结果表明: 退火炉炉辊结瘤是钢板产生凹坑缺陷的最主要原因。钢板清洗质量差、退火炉气氛中氧含量高、炉辊磨损是构成炉辊结瘤的几个主要原因。通过采取提高来料钢板清洗质量、优化退火炉气氛环境、保障炉辊质量等方法, 使得炉辊出现结瘤的情况大幅度减少, 钢板表面质量明显提高, 硅钢产品合格率上升。

关键词: 炉辊结瘤; 清洗质量; 退火气氛; 通气模式; 炉辊质量

中图分类号: TG337.3

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2023)01-0065-05

Causes and Measures of Accretion for Furnace Roller of Annealing Furnace in Production Line of Silicon Steel

Guo Xiao-song, Feng Hai-tao

(Manufacturing Dept. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: The requirements for surface quality of non-oriented silicon steel are very high as well as such defects as pits and color differences are not allowed on the surface, otherwise, the normal use will be affected. The pits on surface account for a larger proportion in surface quality defects so that product delivery and economic benefits are affected. The analysis results indicated that the accretion for furnace roller was the main cause of pit defects on steel plate. The poor cleaning quality of steel plate, high oxygen content in the atmosphere of annealing furnace and wear of furnace rollers are the main causes of accretion for furnace roller. The accretion for furnace roller is significantly reduced by adopting such methods as improving the cleaning quality of incoming steel plate, optimizing atmosphere environment of annealing furnace and ensuring quality of furnace rollers so that the surface quality of steel plate and qualification rate of silicon steel products have been significantly improved.

Key words: accretion for furnace roller; cleaning quality; annealing atmosphere; ventilation mode; quality of furnace roller

硅钢钢板经冲片、铆接或焊接成为铁芯, 主要应用在中小型电机、小型变压器、整流器等电器设备的制造。由于硅钢板用途特殊, 钢板表面应杜绝出现

凹坑、瓦楞、色差等缺陷, 否则会影响正常使用。

国内无取向硅钢产品普遍面临的质量问题主要来自表面凹坑, 而退火炉炉辊结瘤是产生该缺陷的

最主要原因。在目前的工艺路线下,硅钢炉辊结瘤的产生不可避免,最大程度地减少炉辊出现结瘤的可能性,将有效提高硅钢板表面质量稳定性和生产效益。

总体来看,产生炉辊结瘤的主要根源来自三个方面:退火前钢板表面残留物控制水平、退火炉气氛稳定性和炉辊质量。针对上述问题的产生原因,包钢硅钢产线从提高清洗质量、优化退火环境和保障炉辊质量等方面入手,特别是独创性地调整退火炉气体通入方式,综合降低炉辊出现结瘤的几率,提高产品质量。

1 硅钢炉辊结瘤的原因分析

硅钢炉辊结瘤,是指带钢表面的氧化物、铁屑、杂质等物质,在退火炉内的炉辊表面还原和粘结聚集,形成炉辊辊面结瘤。由于硅钢板厚度薄,仅有 0.5 mm,因此在带钢与炉辊连续的接触摩擦过程中,炉辊结瘤点在带钢表面受力,产生周期性凹坑缺陷,影响表面质量。炉辊结瘤实拍图如图 1 所示。

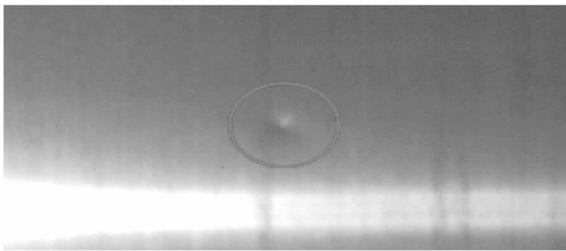


图 1 炉辊结瘤实拍图

炉辊结瘤的原因有以下几个方面:

(1) 硅钢成分中硅含量较高,冷轧轧制时冷硬卷表面铁粉及硅泥残留量较高。前清洗段清洗效率不足,清洗质量差,导致此类残留物在进入退火炉前无法清洗干净,进入退火炉内残留物容易粘结在炉辊表面形成结瘤点^[1]。

(2) 原料卷表面生锈,氧化物被还原气氛还原成活性铁粘附在碳套上形成瘤体。表面氧化是由于原料卷存放时间过长或存放环境湿度过大引起的。

(3) 生产线工艺段加减速幅度过大、过频繁,或炉辊转速与工艺段速度不匹配导致钢带与炉辊产生相对滑动,从而导致炉辊结瘤。

(4) 退火炉内气氛不合适,或氢气、氮气纯度过低(含氧量或杂质超标),其中的杂质附着聚集在碳

套上导致炉辊结瘤^[2]。

(5) 炉辊振动和炉辊传动控制误差使带钢和炉辊之间产生滑动(带钢和炉辊之间存在足够的垂直压力和切向剪应力),发生机械摩擦。在高温时,带钢表面的氧化物、铁屑等在辊子表面还原和粘结聚集,带钢和炉辊之间产生滑动粘着磨损和振动磨损,造成带钢表面金属脱落,形成炉辊辊面结瘤。

(6) 炉辊本身磨损氧化,辊子表面的氧化物附着聚集形成结瘤。

综上所述,造成硅钢炉辊结瘤的主要因素是前清洗段清洗质量差、退火气氛不良和炉辊表面磨损。

2 清洗质量优化

2.1 清洗段功能

在硅钢全工序生产链中,由于生产环境的不同,硅钢原料表面不可避免地包含一些污染物,这些污染物主要包括轧制过程中残留的乳化液、润滑油和铁粉,以及在冷硬卷存放过程中产生的锈和落上的尘土。这些杂质如果无法在原料退火前有效清除,将带入退火炉并影响最终成品的表面质量。为此,产线在退火炉前端设置前清洗段,针对不同类型的杂质,使用不同种类的清洗介质进行有效地清洗去污,实现预期清洗效果。

2.2 清洗原理

清洗段采用的清洗介质为碱性脱脂剂和除盐水。碱性脱脂剂是以碱性清洗剂为主的水溶液,对动植物油脂通过皂化作用,使之成为可溶于水的皂类物质。此类物质可以起到表面活性剂的作用,对非极性的矿物油有乳化作用,加强清洗效果。硅钢线采用的脱脂剂为表面活性剂与碱性水溶液相混合的清洗介质,具有较高的脱脂效率。

硅钢清洗段共设有 6 个分体部分,分别是碱浸洗段、碱刷洗段、电解清洗段、水刷洗段、水浸洗段、水漂洗段。针对不同类型的杂质分类清洗,主要清洗原理是:

(1) 碱浸洗:用清洗液浸泡钢带,利用清洗液中 NaOH 的皂化反应初步去除板面上的植物性油脂,且利用活性剂成分初步去除板面上的矿物性油脂。

(2) 碱刷洗:将清洗液高速喷射到钢带表面,结合刷辊的机械刷洗去除钢带表面残留的油脂及铁粉。

(3) 电解清洗:利用电极板及电解液的电解作用,在钢带表面产生细小的氢气和氧气气泡,利用气

泡溢出的过程深度清洗钢带表面残留的铁粉及油脂。

(4)水刷洗、水浸洗、水漂洗:采用除盐水刷洗、浸泡、喷淋的形式,去除脱脂过程中钢带表面残留的碱液。

(5)热风烘干:利用热风喷吹钢带表面,在烘干脱脂过程中清除钢带表面残留的水分。

2.3 清洗质量优化

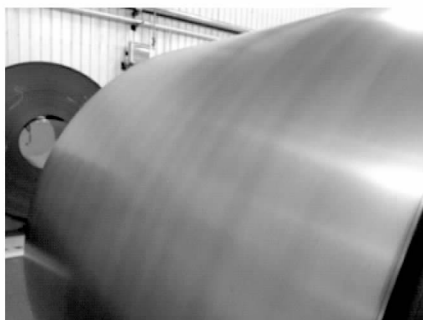
(1)改变清洗段清洗方式。原有清洗方式是清洗介质处于封闭循环状态,清洗介质的清洁度无法得到保证,导致板带清洗质量不稳定,污物易附着在带钢表面带入退火炉。改善后的清洗方式是周期性(每日10:00)排放清洗介质罐体的旧清洗液,补充新清洗液,使清洗介质处于置换流动状态,清洗污物能够及时排放至清洗系统之外,提高清洗介质清洁度,保证带钢清洗质量。经过3个月的跟踪记录,在清洗介质消耗量和成本未增加的情况下,带钢清洗质量得到有效地提高,处理清洗缺陷造成的停车降

速事故大幅度减少。

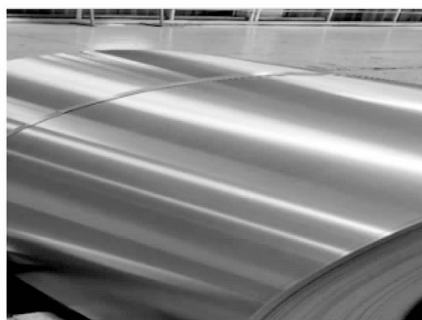
(2)改造清洗段设备结构,保证清洗介质的清洁度,提高清洗质量。

改造清洗介质循环管道结构,增加电动补水阀门,并实现远程控制。操作人员可以在控制画面上根据清洗介质电导率变化情况,随时开启或关闭阀门进行电导率调整,始终保证电导率在工艺要求范围内,提高清洗质量稳定性。

原设计的清洗段换热器为烟气换热器,换热器内部容易堵塞,换热器外面污泥附着,换热效果差,罐体中的脱脂剂使用温度低,无法达到最佳的活性状态,尤其是进入秋冬季,脱脂剂活性差导致清洗质量进一步恶化。在系统中额外引入一组蒸气换热器,提高换热效率。同时,拆除罐体中原始设计的盘管式换热器,减少清洗污泥的聚集,并制定罐体周期性的清洗计划,综合提高清洗介质活性,改善清洗效果。改善前、后清洗效果如图2所示。



(a) 改善前(表面残留、色差)



(b) 改善后(表面光洁)

图2 改善前后清洗效果对比图

3 退火炉气氛调整

3.1 退火炉气氛影响

硅钢连续退火炉是硅钢产线最核心的工艺设备,它的主要作用是将硅钢冷硬原料进行还原性退火处理,以提高钢卷的磁性能,工艺要求的平均退火温度在900℃左右。

为避免带钢被氧化,硅钢退火炉设计为连续密闭卧式退火炉,除入、出口外,炉体通体再没有与外界联通的地方。硅钢退火炉全长327m,由加热段(RTF)、均热段(SF)、循环冷却段(RJC)三段密闭组成。带钢退火时,需要向炉内通入纯氮气和20%的

氮氢混合保护气,以保证炉内气氛始终处于还原性状态^[3]。理论上退火炉内是无氧状态,以杜绝带入的空气氧化带钢和碳套炉辊。目前的通气方式是由SF末段和RJC中段向炉膛通入氮氢混合保护气,但通气管道设计压力低、通入点少,且退火炉较长,通入炉内的还原性保护气体实际无法均匀的分布在炉膛中,炉内气流流动性差,无法保证退火炉气氛的高度还原性。退火炉原始设计通气方式示意图如图3所示。

同时,RJC冷却风机在90~120℃温度范围内长时间连续运行,风机吸风口密封高温老化,导致炉内吸氧,且风机各接口处为螺栓连接,实际密封性能

无法完全保证,外部空气不可避免地进入退火炉,与氢气发生可逆化反应生成水蒸气,进而与以碳为主要成分的碳套炉辊反应,导致碳套表面氧化损耗甚至析出,造成炉辊表面凸起,形成炉辊结瘤。



因此,调整优化退火炉保护气的通气方式和通气量,同时阻断外界空气的吸入,将有效地提高退火气氛质量,进而改善带钢表面质量。

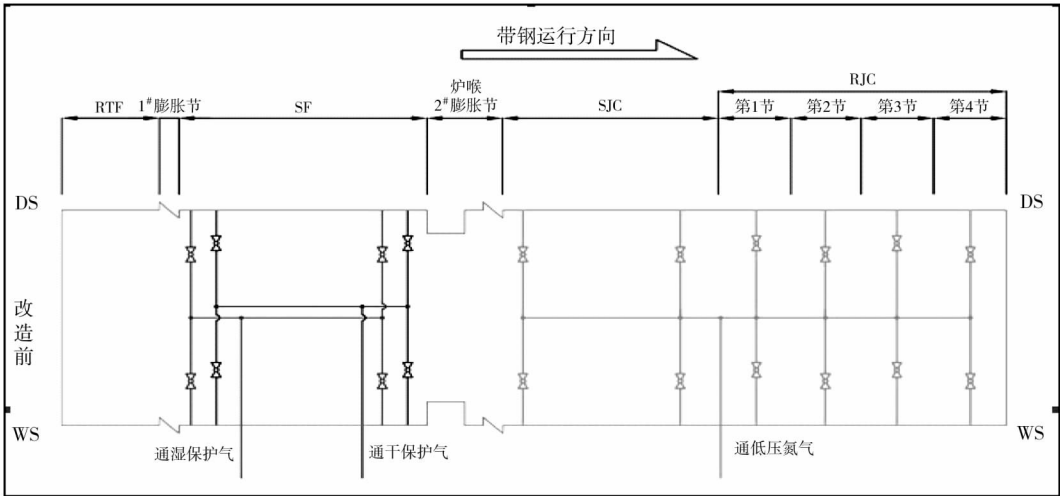


图 3 退火炉原始设计通气方式示意图

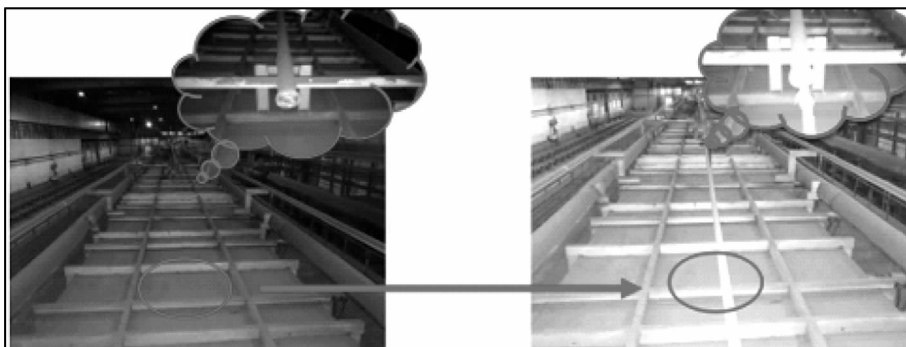
3.2 退火炉通气方式调整

(1) 改变混合气通入方式,增加通气点数量,改善气体流动性,使整个炉膛内部处于高度还原性的气氛中,降低空气吸入量。

首先,硅钢产线上独创性地通过增加、延长通气管道的方法,将 SF 段干保护气引流至 RJC 段,从原来的 4 个低压氮气通入点接入炉膛内,使 RJC 炉膛

内气氛由纯氮气转变为氮氢混合气,保证炉内 RJC 残氧阈值从 0.005 0% 提高至 0.030 0%,降低炉内氧气浓度,进而降低氧气与炉辊碳套反应的几率。退火炉通气管道改造如图 4 所示。

(2) 调整氮氢混合气的通入量和配比。调整氮氢混合气的通入量和配比如表 1 所示。



(a) 改造前

(b) 改造后

图 4 退火炉通气管道改造图

表1 调整氮氢混合气的通入量和配比

区域	原设计通气方式	调整后通气方式
SF	从13区通入500 m ³ /h湿保护气(8% H ₂ + N ₂)和500 m ³ /h干保护气(8% H ₂ + N ₂)	从第11、12、13区通入500 m ³ /h湿保护气(5% H ₂ + N ₂)和500 m ³ /h干保护气(5% H ₂ + N ₂)
RJC	从RJC第4节通入400 m ³ /h低压氮气	从RJC第1、3节通入100 m ³ /h干保护气(5% H ₂ + N ₂);从RJC第2、4节通入500 m ³ /h低压氮气

(3)改造RJC风机吸风口密封结构。18台高速RJC冷却风机长时间在90~120℃环境下连续工作,对吸风口的密封质量要求非常高,如果密封不好,炉内吸氧导致残氧增多,将增加发生炉辊结瘤的几率。为此,对RJC风机吸风口的密封形式进行改造。首先将硅胶密封垫片更换成石墨密封垫片,同时自主设计增加法兰扣紧装置,大幅减少了从风机吸风口吸入空气的量,保证炉膛内退火气氛的稳定,降低因吸氧造成的炉辊结瘤几率。

4 炉辊质量保障

硅钢产线由于生产计划变化多,生产节奏不稳定,因此炉辊更换周期未形成标准。硅钢炉辊采用的是碳套炉辊,辊芯外部是包套碳套,碳套材质为松软的石墨。碳套炉辊的使用温度范围一般在650~1200℃,使用寿命为18个月。硅钢产线炉辊更换的原始标准是不损坏不更换,这就为炉辊质量的可靠性埋下隐患^[4]。

2021年硅钢产线在高速高温的工况下连续满负荷生产,频繁发生炉辊结瘤问题,不得不降速生产甚至被动停车消除缺陷,严重影响产线的稳定运行和产品质量,效益损失巨大。后来经过开炉检查,部分炉辊表面的碳套已经严重磨损,凸起点多,造成炉辊结瘤,甚至少数炉辊碳套脱落。

反思事故教训并总结经验,炉辊质量水平是影响产品质量的重要因素之一。为此,硅钢产线重新设定炉辊更换标准,保证炉辊质量的可靠性。

(1)高温区炉辊更换周期为12个月(RTF4区—SF4区;平均温度为910℃),且必须使用高温碳套炉辊。

(2)非高温区炉辊更换周期为18个月,每个季

度进行一次为期3天的退火炉项目检修,开炉检查炉辊实际磨损情况,为不断优化炉辊维护保养水平提供理论和实际的指导,保证生产成本和产品质量的有效平衡。

(3)记录每一根炉辊的磨损量(碳套辊直径的减小量不大于10mm),建立跟踪台账,保证炉辊质量稳定。

5 结论

(1)调整清洗段清洗介质循环方式,改造清洗段换热器结构,提高换热温度,保证清洗介质(脱脂剂)活性,改善带钢清洗质量,最终减少残留物带入退火炉的总量,降低炉辊结瘤几率。

(2)增加退火炉氮氢混合气的通入点,调整通气方式,提高炉膛内保护气分布的均匀性,降低残氧量,减少氧气与炉辊碳套的反应几率,抑制炉辊结瘤。

(3)优化炉辊更换周期,提高炉辊维护保养水平,建立炉辊维护检修标准体系,减少因炉辊磨损导致的炉辊结瘤。

参 考 文 献

- [1] 何忠治. 电工钢[M]. 北京:冶金工业出版社, 2012.
- [2] 荣光. 冷轧硅钢的生产工艺概述[J]. 本钢技术, 2008, 3(25): 26-27.
- [3] 梁师帅. 冷轧硅钢退火新技术及退火炉特点分析[J]. 工业炉, 2012, 34(1): 22-23.
- [4] 周建明, 张贵春. 冷轧连退炉炉辊结瘤原因分析及控制措施[J]. 江西冶金, 2016, 36(5): 27-28.