包钢硅钢生产线生产工艺解析*

郭晓松

(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: 经过对包钢薄板厂 20 万 t 硅钢生产工艺的探索与总结,钢板清洗质量、退火炉退火温度、涂覆膜厚度等因素,是影响硅钢成品性能的关键因素。优化前清洗段的清洗质量是降低炉辊结瘤概率的有效手段。保证退火炉的退火温度在 750 ~ 950 ℃是细化钢板晶粒,调整组织,消除组织缺陷的核心工艺。涂覆膜均匀、厚度合理,保证在 3.2 ~ 3.5 g/m^2,是确保硅钢片免受各种腐蚀介质的侵蚀的重要措施。

关键词: 硅钢; 清洗质量; 退火温度; 涂层控制

中图分类号: TG142.77 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2017)05 - 0056 - 04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.05.016

Production Process Analysis of Silicon Steel Production Line in Baotou Steel

GUO Xiao - song

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

Abstract: After the exploration and summary of the production process of 200,000 tons silicon steel in Sheet Plant of Baotou Steel, factors such as the quality of steel plate cleaning, the annealing temperature of annealing furnace and the thickness of coating film are the key factors affecting the performance of silicon steel finished products. The cleaning quality of the cleaning section before optimization is an effective method to reduce the probability of furnace accretion for furnace roller. The annealing temperature of the annealing furnace at 750 ~ 950℃ is the core technology to refine the grain of steel plate, adjust the microstructure and eliminate the defects of microstructure. Uniform coating film, reasonable thickness and guaranteed in 3.2 ~ 3.5g/m^2 are important measures to ensure the corrosion of silicon steel sheet from various corrosive mediums.

Key words: silicon steel; cleaning quality; annealing temperature; coating control

硅钢是指含硅量在 0.5% ~ 4.5% 左右的硅铁合金,是电力、电子和军事行业不可缺少的重要软磁合金,被称为钢铁产品中的“艺术品”。硅钢有热轧和冷轧两种。热轧硅钢成材率低,无法连续加工、耗电高、生产过程污染严重,在行业中基本已经全部停止生产和使用[1]。冷轧硅钢片是变压器、电动机、发动机等电气设备的主要原材料,其含硅量在 0.5% ~ 3.0%。其生产工艺复杂,需要严格控制各项生产环节才能保证成品性能。炉温控制与涂层精度将决定硅钢成品性能,目前,硅钢生产线已实现对二者的自动化控制,控制精度也得到保证,但控制过程存在一些缺陷,如异常状况下应急措施不完善、控

* 收稿日期: 2017 - 06 - 30

作者简介: 郭晓松(1990 -),男,内蒙古包头市人,助理工程师,现从事硅钢生产工艺工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

制细节需要改进等。因此，将针对特定问题提出解决措施，进一步优化冷轧无取向硅钢生产工艺流程。

1　硅钢生产工序

铁水预脱硫处理→转炉冶炼→RH 处理→薄板坯连铸连轧→酸洗→冷轧→连续退火→涂层→卷取(取样检验)→包装出厂

在硅钢生产末段，即退火、涂层段，是直接决定硅钢成品的性能好坏及成品等级的阶段，如何管控好相应的工艺变得尤为重要。

2　退火涂层工艺解析

2.1　前清洗段

硅钢生产线主要控制的是退火与涂层两部分。然而，在冷轧原料进入退火炉退火前，由于生产环境的不同，硅钢原料表面不可避免的包含一些污染物，这些污物主要包括：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。因此，必须对板带进行清洗，否则将严重影响最终成品表面质量，从而影响成品等级。

硅钢生产线在退火炉前专门设置了前清洗段，并且针对不同性质的杂质，设计不同种类的清洗介质，做到对症下药，有的放矢。

硅钢线前清洗段的清洗结构与清洗原因如下所述：前清洗段的布置结构依次为：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。各段针对不同性质的杂质，分类清洗，主要清洗原理是：

(1) 乳化液、润滑油：利用清洗液中 NaOH 的皂化反应初步去除板面上植物性油脂，在利用活性剂成分初步去除板面上的矿物性油脂。结合刷洗和电解清洗深层次去除钢带表面的油脂。

(2) 铁粉：利用刷洗初步去除钢带外层的铁粉，利用电解清洗深层次去除钢带表面的铁粉。

(3) 锈：钢带表面的粘附的铁锈颗粒可以经刷洗去除。

(4) 尘土：可经脱脂清洗去除。

(5) 经过前清洗段对板带各种类型的冲洗，原板污物绝大多数已经清洗干净，能够满足后续生产工艺的要求。

2.2　连续退火

退火是一种金属热处理工艺，指的是将金属缓慢加热到一定温度，保持足够时间，然后以适宜速度冷却。目的是降低硬度，改善切削加工性；消除残余应力，稳定尺寸，减少变形与裂纹倾向；细化晶粒，调整组织，消除组织缺陷[2]。

2.2.1　退火炉优点

(1) 采用全辐射管间接方式加热带钢，改善带钢加热质量。

(2) 采用先进的保护气体循环冷却装置，采用交流变频调速，可实现带钢冷却速度、冷却温度的有效控制。

(3) 全炉均为密封炉体，既可避免带钢高温氧化，又确保炉内气氛安全可控。

(4) 采用辐射管间接加热和电阻带加热相结合的加热方式，方便控制炉内气氛，更利于保证带钢的表面质量。

(5) 采用先进的余热回收技术，可以将烟气排放温度稳定的控制在 160 ℃左右，降低了在烟气排放过程中造成的热量损失。

(6) 采用先进的加湿系统，使炉内露点更稳定，保证产品质量的均匀性。

(7) 炉顶及侧墙耐火材料均采用轻质陶瓷纤维内衬，有效的减少了炉体散热和蓄热损失，降低炉子的控制惰性。

(8) 采用防爆泄压装置，防止发生意外爆炸时对炉体造成损害。

(9) 通过炉温检测装置和自动燃烧系统相结合的控制方式，可根据工艺设定值自动调节炉温。

(10) 设置在线氢分仪，可以连续监测炉内氢气含量。

(11) 通过设置炉压检测设备和相应的保护气体通入孔，可灵活控制各处的炉压，保证炉内气体流动稳定。

(12) 设置连续露点检测仪，自动控制炉内露点，保证炉内露点能满足工艺要求。

(13) 全炉均为密封炉体，既可避免带钢高温氧化，又确保炉内保护气体安全可控。

2.2.2　烧嘴工作原理

退火炉加热段由 108 个 W 型辐射管组成，起到加热作用的主要是各辐射管的烧嘴。只有烧嘴保持正常的工作状态，退火炉才能保证稳定运行。烧嘴遇到的主要故障及解决方法主要有以下几方面：

(1) 检查点火变压器是否点火。检查电磁阀是否良好；检查烧嘴控制器电磁阀和点火变压器输出端子是否有输出。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(2) 检查点火电极是否漏电。检查电极点火位置是否正确(确保火花在风盘前);梅花头离点火头2 mm的间距,梅花头下面瓷管突出风盘面2~3 mm。

(3) 空燃比例不好。测烧嘴上燃气压力和空气压力,调整空燃比例阀或烧嘴前手动燃气阀和手动空气阀门。

(4) 电极损坏。电极绝缘损坏,短路或内部断路。电极头陶瓷或瓷管破损漏电。

(5) 烧嘴控制器损坏。烧嘴控制器火焰检测功能损坏。

(6) 点火控制器地线未接。检查烧嘴控制器内接地端子是否与烧嘴客体或炉壳连接。

2.2.3 退火关键控制点

(1) 气氛:包钢硅钢生产线炉内气氛主要是氮氢混合气体,其中氮气的流量在350~450 m^3/h,氢气比例在5%~12%范围内。混合气体的比例配比将影响退火炉运行的稳定性。

(2) 温度:硅钢生产的原料钢种有三种,分别为50W600、50W800、50W1000,不同钢种需要不同的退火温度,退火温度主要影响硅钢板的磁感应强度、铁损等性能,退火炉内设计有多个热电偶,用于时时检测炉内各区温度,保证退火温度正常。

(3) 冷却效果:退火炉内设计有18台冷却风机,其中10台是交流变频风机,可以随着板带温度自动变化风机转速。另外8台为直流风机,保证板带冷却效果。

2.3 涂层

在制造铁芯时,需要将减薄的电工钢片叠装在一起使用,为了有效的将涡流限制到各叠片内,同时使硅钢片在存储、运输和使用过程中免受各种腐蚀介质的侵蚀,防止锈蚀,需要在电工钢片表面涂覆一层电工绝缘涂层,使其具有适当的绝缘性,同时防止锈蚀。

绝缘涂层要求具有良好的绝缘性、附着性、耐蚀性等基本特性,同时要求具有良好的冲减加工性、焊接性,能经受消除应力退火的耐热性等性能[3]。

冷轧无取向电工钢表面涂层主要包括:有机涂层、无机涂层、半无机涂层三大类,从环保角度出发,总的发展趋势是有机涂层逐渐淘汰,无机涂层逐步代替半无机涂层。但由于受到无机涂层自身属性和各方面条件的制约,目前国际上电工钢制造厂商普遍应用仍为半无机涂层。

无取向硅钢表面绝缘涂层分成有机涂层、无机涂层和半无机涂层三大类。无机涂层的基本成分是磷酸盐涂料和磷酸铝基涂料中添加胶态二氧化硅、氧化镁和硼酸。无机涂层具有良好的耐热和焊接性能,但其冲制性和粘结性不佳。半无机涂层基本成分为磷酸盐、铬酸盐、乳胶树脂溶液、弥散促进剂和表面活性剂,其中弥散促进剂和表面活性剂对涂层的质量具有重要作用。半无机涂层具有良好的冲制性和粘结性,但其耐热性和焊接性不及无机涂层。

3 硅钢生产中常见问题

3.1 炉辊结瘤

在连续退火中,能够遇到的最主要也是最严重的问题就是炉辊结瘤。炉辊结瘤,就是带钢表面的氧化物、铁屑等在辊子表面还原和粘结聚集,形成炉辊辊面结瘤。

炉辊结瘤产生的原因主要有以下几方面:

(1) 钢带入退火炉前表面铁粉残留量过多,铁粉粘附在碳套上形成瘤体。铁粉残留量过多可能是冷硬卷表面残留量过大引起的,也可能是脱脂清洗段清洗液成份不合适或清洗液未及时更换引起的。

(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(含氧量超标),导致部分杂质在碳套上聚集。

(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,发生机械摩擦作用,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,形成炉辊辊面结瘤。

(6) 由于辊子本身磨损氧化,辊子表面的氧化物附着聚集形成的[4]。

在上述原因中,前清洗段的清洗质量和炉内气氛是否合格,是影响炉辊结瘤的最主要因素。对此,生产线严控前清洗段各清洗介质的工艺参数,特别是电导率、介质温度、介质浓度等核心参数,并每天观测水样是否达标,在线检测钢板清洗是否干净,确保清洗质量合格。在炉内气氛控制方面,硅钢线入口区域设置了氮气纯化装置,可以实时监控氮气的纯度,确保其氧含量低于工艺要求限度,保证炉内气

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

氛合格。

此外，考虑到炉辊使用寿命周期，设备人员对每一根炉辊的安装时间进行登记，定期跟踪其工作状态，并定期更换，防止因本身磨损氧化，造成氧化物聚集，产生结瘤点。

3.2　冷却不均匀

(1) 冷却裂纹和残余应力、组织性能不好、瓢曲和划伤等。

(2) 冷却裂纹和残余应力是由于钢板在冷却时，由于不均匀冷却所产生的热应力造成的。

(3) 钢板在冷却时，如果冷却过慢则使晶粒粗大，冷却速度过快又会产生魏氏组织、马氏体组织等，降低钢板的综合力学性能。

(4) 瓢曲是由于钢板冷却时，上下表面冷却不均以及各部位冷却不均所造成的。

4　质量控制要点

(1) 前清洗段各清洗介质设定相应的工艺参数，如电导率、刷辊电流、介质温度等，并实现在线时时监控，发现参数不达标时，及时调整，保证带钢进入退火炉前的清洗质量合格。

(2) 要求退火炉各区实际温度与工艺设定温度最大温差在 ±20 ℃ 范围内波动，当出现温度超差时，限定在 30 min 内消除故障，保证炉温恢复到正常温度。

(3) 设定涂层厚度标准，要求涂层厚度波动范围在 ±0.2 g/m^2 以内。优化程序，实现对涂层设备的远程控制。当涂层厚度出现偏差时，能够及时调整，保证涂层厚度均匀稳定。设计在线液体冷却系统，对涂层液实现低温冷却，保证涂层液质量有效。

5　结论

(1) 硅钢生产中，退火环境是决定成品性能的关键，稳定的退火温度有利于降低铁损值。

(2) 涂层精度控制、涂敷膜的稳定性，将影响硅钢片的表面质量，涂层要求具有良好的绝缘性、附着性、耐蚀性等基本特性，同时要求具有良好的冲减加工性、焊接性，能经受消除应力退火的耐热性等性能。

(3) 成品表面质量需要严格控制，应保证带钢清洗质量，减少出现炉辊结瘤，保证板材表面光洁。

(4) 生产工艺按照要求调整，防止出现性能异常情况。

参　考　文　献

[1] 荣光. 冷轧硅钢的生产工艺概述 [J]. 本钢技术，2008，3(25)：25－26.

[2] 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)：20－24.

[3] 杨志康. 硅钢涂层机的改进与涂层膜厚的控制 [J]. 轧钢，2016，33(6)：42－44.

[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)：25－28.

欢 迎 刊 登 广 告

欢迎全国冶金机械及冶金工程技术咨询服务机构等相关行业在《包钢科技》杂志上刊登各类广告。

《包钢科技》编辑部

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net