

文章编号:1673-9981(2013)02-0136-04

# 高性能取向硅钢生产过程中的节能降耗\*

李晓强<sup>1</sup>, 彭志华<sup>1</sup>, 柳明<sup>2</sup>

1. 广东盈泉钢制品有限公司, 广东 清远 511538; 2. 华南理工大学, 广东 广州 510640

**摘要:**从取向硅钢生产路线的选择、工艺技术的改进和生产设备的改造三方面进行了生产取向硅钢的节能降耗技术改造. 通过完善多元抑制剂配方生产低温取向硅钢, 通过加抛丸的酸洗、带面超声波清洗、改进连续退火炉以及余热循环利用等技术改造, 使2012年取向硅钢的产量与未进行技术改造前的2009年相比提高了2.5倍, 产品磁性上升了一个半牌号, 能耗下降了8.9%, 成材率提高了6.4%, 生产成本下降了22%, 综合效益显著.

**关键词:**含铜取向硅钢; 酸洗; 超声波清洗; 退火炉; 节能降耗

**中图分类号:** TG142.77; TG178

**文献标识码:** A

取向硅钢是国家鼓励发展的特钢品种之一, 但它的生产工艺流程长、工艺难度大, 能耗和物耗大、生产成本较高. 因此, 研究和推广取向硅钢生产中的节能降耗技术, 既符合国家的产业政策, 又降低了企业的生产成本, 能带来很好的经济效益和社会效益.

## 1 取向硅钢生产过程中的节能降耗技术

### 1.1 采用低温生产取向硅钢

生产取向硅钢的代表性技术有: (1) 以 MnS 为主要抑制剂的二次冷轧法, 此法主要用于生产普通取向硅钢; (2) 以 AlN + MnS 为抑制剂, 实施大压下率的一次冷轧法生产高磁感取向硅钢; (3) 以 MnSe (或 MnS) + Sb 为抑制剂的二次冷轧法生产高磁感取向硅钢. 在这些方法中, 为使抑制剂颗粒完全固溶, 须在 1400℃ 左右的高温下加热板坯<sup>[1]</sup>, 而板坯加热温度过高会使成材率低、能耗大、设备寿命短且产品性能不稳定<sup>[2]</sup>. (4) 以日本新日铁公司为代表的后天抑制剂工艺. 在炼钢时只添加微量铝元素<sup>[3]</sup>, 使热轧板坯的加热温度仅为 1150~1200℃, 是目前取

向硅钢生产中温度最低的. 该工艺采用一次大压下率冷轧, 在高温退火前进行渗氮处理, 以形成足够多的 AlN 质点. 其缺点是渗氮温度一般较高 (750~900℃), 后续工序能耗大、渗氮量不易控制. 另外, 如果抑制剂完全由后天形成, 则对前工序的热轧、脱碳等工艺参数的控制精度要求很高, 不易实现; 且一次大压下率冷轧难度较大, 成材率低. (5) 以俄罗斯新利佩茨克公司为代表的以 Cu<sub>2</sub>S 作主要抑制剂的含铜取向硅钢生产工艺<sup>[4]</sup>, 该工艺的成材率较高. 由于 Cu<sub>2</sub>S 的固溶温度较低, 因此, 可采用较低 (1250~1300℃) 的板坯加热温度. 但铜的加入会对脱碳效果产生影响, 如脱碳不彻底, 将使产品产生磁时效. 德国的 Thyssen 等厂家以 Cu<sub>2</sub>S + AlN 为抑制剂, 采用常化处理 and 一次大压下率冷轧工艺, 生产高磁感钢.

广东盈泉钢制品有限公司从 2003 年开始自主研发取向硅钢的低温生产技术和工艺, 包括抑制剂方案和化学成分、工艺流程、各工序的工艺参数及涂层配方等.

在传统抑制剂的基础上, 经大量的机理研究和工艺试验, 发明了多元抑制剂的取向硅钢生产技术: 汲取了含铜取向硅钢生产工艺的优点, 采用较低

收稿日期: 2013-03-28

\* 基金项目: 清远市产学研合作项目 (2010C008) 专项资金资助

作者简介: 李晓强 (1965-), 男, 广东梅县人, 工程师, 学士.

(1250~1300 ℃)的板坯加热温度,在  $\text{Cu}_2\text{S}+\text{AlN}+\text{MnS}$  抑制剂的基础上,添加具有加强抑制能力的 Cr, Ni, Ti 及 Sn 等元素<sup>[5-6]</sup>,并严格控制其含量和配比,在脱碳后采用后天渗氮技术,在高温退火的隔离剂中添加可促进二次再结晶更稳定和更完善的添加剂,以进一步强化抑制能力,在二次再结晶时形成更完善的取向高斯织构,提高产品的磁性。多元抑制剂工艺的特点是,抑制剂质点可分阶段形成,这样既降低了对前工序工艺参数控制精度的要求,又保证了产品的质量,且工艺较简单和易于控制、成材率高、产品的磁性强。经不断研究和改进,采用多元抑制剂工艺现已稳定实现高磁感取向硅钢的批量生产,除生产 130 等牌号的普通取向硅钢外,还可生产 30QG110、30QG120 等牌号的高性能取向硅钢,磁感  $B_0$  的平均值为 1.89 T。

## 1.2 工艺优化和技术创新实现节能降耗

### 1.2.1 除锈工艺的技术改造

硅钢在热轧过程中表面产生的氧化皮非常致

密,除锈难度比冷轧带钢要大得多,冷轧带钢除氧化皮的方法是采用盐酸酸洗,不仅能耗、水耗大,而且酸雾还污染环境对附近设备产生腐蚀,同时对酸洗废水的处理负担亦很重,这种除锈方法不适宜直接应用到取向硅钢的生产上,需对其进行技术改造。

对酸洗线的技术改造包括:在酸洗前增加抛丸除锈环节,增设酸雾抽风和处理装置,增加立式中和钝化池以提高钝化效果,增设两组刷洗装置,在酸槽出口和中和池出口增设挤酸(碱)辊等。采取上述技术改造措施后,酸洗槽的长度缩短了一半,且只需在较低的温度下进行酸洗,减少了盐酸的挥发量。改造前用 0.5 t 油炉产生的蒸汽加热,现改用功率为 48 kW,容量为 30 L 的电加热小锅炉进行加热,不仅使酸耗、水耗和能耗大幅度降低,而且减少了盐酸对环境的污染。除锈工艺技术改造前后的物耗、能耗指标列于表 1。由表 1 可见,由于酸槽长度的大幅缩短和酸洗温度的大幅降低,使酸耗和水耗均有不同程度的降低,特别是电耗的降幅较大,节能效果显著。

表 1 除锈工艺技术改造前后的物耗和能耗

Table 1 Material and energy consumption before and after descaling technology

	酸槽长度/m	盐酸温度/℃	酸耗/( $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$ )	水耗/( $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ )	电耗/( $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{t}^{-1}$ )
改造前	45	70	47.2	5.2	238
改造后	20	40	39.1	3.5	48

### 1.2.2 钢带清洗技术改造

钢带经冷轧后,表面会残留轧制油和粉末、灰尘、铁粉等污物,这些污物如被带入退火炉内,不但会污染炉内气氛,影响工艺效果及钢带表面质量,还会影响脱碳效果,对产品的磁性和外观质量造成影响。

在镀锌板、马口铁和不锈钢生产中,普遍采用电解脱脂工艺对钢板表面进行清洗。但电解脱脂的能耗大且电极板易损耗。

超声波的清洗效率高,将其应用于硅钢的清洗,与传统的机械刷洗方法相比,由于刷辊数量和热水用量均有所减少,因此,在提高清洗效果的同时,还降低了处理液的加温能耗和清洗水耗。

超声波清洗的原理是:利用振子(换能器),把电能转化为频率为 10~100 kHz 的声能(机械能),通过清洗槽内的液体将声能传播到工件上。当声能达到一定强度的时候,液体内的微气泡会迅速膨胀和

闭合,瞬间产生强大的冲击波,对污物层产生冲击、搅拌和乳化作用,将油污和固体粒子从工件表面剥离。钢带经超声波清洗后,还应通过刷洗等后续工序把工作表面残留的清洗液和污物冲洗干净。

选用频率为 28 kHz 的超声波发生器和日本 NTK 公司的 NKC-16.2 型换能器作为钢带脱脂洗净机的主要设备。换能器与振板的连接采用先进的西德粘接技术,无脱胶之虑。参考电解脱脂槽的结构,设计了专用的钢带连续式超声波清洗槽和刷洗装置。超声波清洗槽采用立式结构(图 1),主要由不锈钢槽体、转向辊、沉没辊、沉没辊密封、挤干辊及电加热装置等组成。刷洗装置为卧式结构,由槽体、槽盖、刷辊、刷辊驱动装置、支承辊、密封辊及喷水管等组成。

钢带超声波洗净机的总功率为 28.8 kW(不含加热管功率),采用 380V50Hz 交流电源。内槽体的材质为厚度 2.5 mm 的 SUS304 镜面不锈钢板。超声波发生器的控制箱尺寸为 500 mm×410 mm×160 mm,共 12 个,超声波发生器具有复频扫描和定

时功能,且功率可调.超声波振板采用厚度 2.5 mm 的 SUS316L 镜面不锈钢板,采用两侧对面辐射发震的形式,外侧两块振板上有 324 个振子,中间两块振板上有 270 个振子.振板上部设有挂钩,底部设有固定板,方便安装及维护.

刷洗器的槽体采用厚度为 2.5 mm 的 SUS304 不锈钢板材,底部做成漏斗形,方便排渣.刷洗器的驱动电机功率为 5.5 kW,有两对尼龙刷辊和一对密封辊.

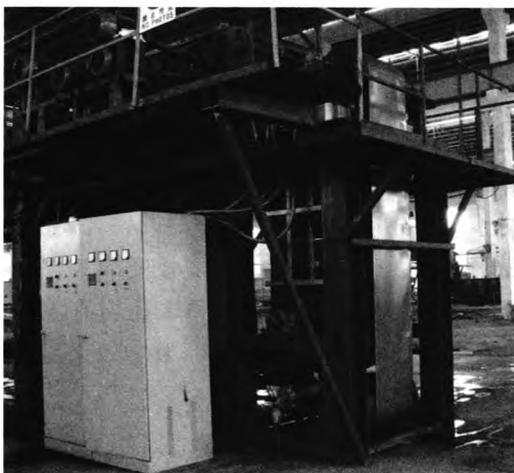


图 1 连续式带钢超声清洗装置

Fig. 1 Continuous strip steel ultrasonic cleaning device

按上述改造方案共制造了两套超声波清洗设备,第一套于 2011 年 1 月投入试运行,第二套于 2011 年 4 月投入试运行.在试运行期间根据使用情况,对振板和振子的数量进行了一些调整,目前,这两套设备仍在正常使用之中.

钢带清洗生产线经超声波清洗改造后,节能效果非常明显,具体表现为:

(1) 洁净度明显改善,提高了产品的表面质量.

(2) 由于改善了脱碳效果,脱碳退火线的运行速度由 16 m/min 提高到 18 m/min,提高了生产效率,吨钢退火能耗下降了 20 kW·h,每年节约用电 60 万 kW·h.

(3) 与电解脱脂相比,超声波清洗节能降耗的效果明显,吨钢能耗减少 35 kW·h,每年节约用电 105 万 kW·h.整套装置的实际能耗只有电解脱脂的 40% 左右,而且没有需经常更换的易损件.

(4) 炉内气氛:氨分解气流量由 110 m<sup>3</sup>/h 下降至 80 m<sup>3</sup>/h,氮气流量由 150 m<sup>3</sup>/h 下降至 100 m<sup>3</sup>/h,降低了气体用量,节省了成本.

(5) 占地面积较少.

### 1.3 改进连续退火炉的构造

#### 1.3.1 炉体结构的改造

传统的硅钢退火炉均采用大炉膛结构<sup>[7]</sup>,以便作业人员进入炉膛内进行修补耐火材料或更换电阻带等维修作业,其缺点是散热面积大、能耗高、设备制造成本高.

在不影响操作人员进行维修作业的前提下,将炉膛宽度和高度均为 1 m 的退火炉改为高 0.5 m,宽 1 m 的矮炉膛退火炉后,可使筑炉材料节省 15%,退火能耗下降 10% 以上.

#### 1.3.2 采用节能筑炉材料

多晶莫来石耐火材料是一种新型轻质耐高温绝热材料<sup>[8]</sup>,具有极好的耐热稳定性,其导热系数是传统耐火砖的 1/6,比高铝质轻质耐火砖低 30%,而且具有低热容的特点,是高温炉窑节能降耗、优质高产的理想筑炉材料.在连续生产的加热炉上使用多晶莫来石耐火材料,可节能 5%~6%.

硅酸铝耐火纤维具有容重低、导热系数低、热容小、价格低的优点,作为炉衬外层保温材料,具有很好的节能效果.

广东盈泉钢制品有限公司于 2011 年采取矮炉膛、使用多晶莫来石耐火材料及硅酸铝耐火纤维等技术改造措施,建造了三条硅钢连续退火炉生产线.连续退火炉改造前后的能耗和物耗对比列于表 2.由表 2 可见,对退火炉进行改造后各项物资消耗均比改造前有较大幅度的降低,节能降耗效果显著.

表 2 连续退火炉改造前后的能耗和物耗

Table 2 Energy and material consumption of continuous annealing furnace before and after the transformation

	改造前		改造后	
	2010 年 5 月中试炉	2011 年 10 月“矮膛”炉	2011 年 10 月“矮膛”炉	2012 年 3 月“矮膛”炉
能耗/(kW·h·t <sup>-1</sup> )	2041.4	1924.6	1924.6	1859.85
液氨消耗/(kg·t <sup>-1</sup> )	65.5	55.0	55.0	51.2
其他物耗/(元·t <sup>-1</sup> )	945.72	589.16	589.16	576.52

### 1.4 水、气循环综合利用

在取向硅钢的生产过程中,需用大量的水和保护气.对生产线不同环节的生产用水、用气进行循环利用,可节约大量资源并降低能耗.

硅钢带在连续退火炉内需加热至大约 850 ℃,保温一段时间后出炉,钢带在出炉前需冷却至常温.在传统的生产工艺中,未对钢带冷却时产生的余热进行利用.安装硅钢生产线节能冷却器可对这部分余热进行综合利用.在退火炉的出口与卷取间安装冷却水套进行热交换,利用钢带的余热产生热水.所产生的热水可供刷洗槽等工序用水,节约了这些工序对水加热所需的电能<sup>[9]</sup>.

保护气的热值很高,将退火炉排放的保护气收集后作为燃料也可节省大量能源.进行这些改造投入的资金不多,但节能的效果非常显著.

## 2 结 论

节能降耗不仅是企业提高经济效益和竞争力的重要途径,也是企业加强技术创新、强化内部管理的催化剂.通过低温生产取向硅钢及除锈、清洗、退火炉结构的技术改造及对水、气的综合利用等措施的实施,与节能降耗技术改造前的 2009 年相比,2012 年钢的产量提高了 2.5 倍,产品磁性上升了一个半

牌号,能耗下降了 8.9%,成材率提高了 6.4%,生产成本下降了 22%.目前,广东盈泉钢制品有限公司正积极推行清洁生产工作,计划通过持续改进工艺与设备、加强管理、提高资源综合利用等措施,更加系统和有效地做好节能降耗工作.

### 参考文献:

- [1] 李军,孙颖,赵宇,等.取向硅钢低温铸坯加热技术研发进展[J].钢铁,2007,42(10):72-75.
- [2] 朱文英.板坯低温加热工艺生产取向硅钢片[J].上海金属,2001,23(4):33-37.
- [3] 卢凤喜,姚成君.日本高磁感取向硅钢最新进展(II)[J].金属功能材料,2006,13(4):36-39.
- [4] 黎世德.俄罗斯的电工钢[J].电工钢,2000,39(1):10-16.
- [5] 张颖,傅耘力,汪汝武,等.高磁感取向硅钢中的抑制剂[J].中国冶金,2008,18(11):5-8.
- [6] 赵宇,何忠治,朱静,等.Sn对高磁感取向硅钢抑制剂强度的贡献[J].电工钢,1994,16(2):5-7.
- [7] 江尧忠.工业电炉[M].北京:清华大学出版社,1993:189-209.
- [8] 许伟荣.多晶莫来石耐火纤维及其制品在窑炉上的应用[J].能源技术,1999(4):33-36.
- [9] 彭志华,李晓强,梁康宁,等.一种连续退火炉冷却器:中国,ZL201110009626.5[P].2012-09-19.

## Energy saving and consumption reduction in production of high performance oriented silicon steel

LI Xiaoqiang<sup>1</sup>, PENG Zhihua<sup>1</sup>, LIU Ming<sup>2</sup>

1. Guangdong Yingquan Steel Products Co., Ltd., Qingyuan 511538, China; 2. South China University of Technology, Guangzhou 510640, China

**Abstract:** Energy saving technological transformation was carried out in the production of grain oriented silicon steel from three aspects of the oriented silicon steel production process route selection, technology improvement and equipment renovation. Through the improvement of multiple inhibitor formulations for producing low-temperature grain-oriented silicon steel, and by adding the blasting pickling, the belt surface ultrasonic cleaning, improvement of continuous annealing furnace, waste heat recycling technology, oriented silicon steel production in 2012 increased by 2.5 times compared to 2009 when the technological transformation wasn't performed. The product magnetic rose 1.5 brands, energy consumption decreased by 8.9%, yield rate increased by 6.4%, and the cost of production decreased by 22%, resulting in a remarkable comprehensive benefit.

**Key words:** copper containing orientation silicon steel; pickling; ultrasonic cleaning; annealing furnace; energy saving and consumption reduction