0.08 mm 厚中频用取向硅钢极薄带制作工艺研究*

霍慧贤，孙振东，刘鹏程，刘宝志，李艳霞

（包头市威丰稀土电磁材料股份有限公司，内蒙古 包头 014010）

摘 要： 文章介绍了利用我厂生产的0.27 mm厚普通取向硅钢（CGO）作为原料制作0.08 mm厚中频用取向硅钢极薄带的工艺研究过程，着重研究了不同退火温度与机组运行速度（即保温时间）的热处理工艺对取向硅钢磁性能的影响，确定了以900 ℃×10 m/min为最佳的热处理工艺，获得了取向硅钢极薄带的磁感应强度 B_8 = 1.846 T，铁损 $P_{1.5/400}$ = 11.15 W/kg，矫顽力 H_c = 53.57 A/m 的良好中高频电磁性能的制作工艺。

关键词： 取向硅钢极薄带；退火温度；保温时间；磁性能

中图分类号： TG335.12 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438（2021）01－0050－03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.01.015

Study on Manufacturing Process for Paper－thin Steel Strip of Grain Oriented Silicon Steel with Thickness of 0.08 mm for Medium Frequency Equipment

Huo Hui－xian, Sun Zhen－dong, Liu Peng－cheng, Liu Bao－zhi, Li Yan－xia

(*Baotou Weifeng Rare Earth Electromagnetic Material Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, it is introduced the process of technical study on manufacturing paper－thin steel strip of grain oriented silicon steel with thickness of 0.08 mm for medium frequency equipment by taking the common grain oriented silicon steel (CGO) with thickness of 0.27 mm produced by our plant as raw material as well as studied the effects of heat treatment technology with different annealing temperatures and running speeds of unit (i.e. holding time) on magnetic property of grain oriented silicon steel. 900 ℃×10 m/min is determined to be the optimum heat treatment technology as well as the manufacturing process of paper－thin steel strip of grain oriented silicon steel with good medium and high frequency electromagnetic property that magnetic induction intensity B_8 = 1.846 T, iron loss $P_{1.5/400}$ = 11.15 W/kg and coercive force H_c = 53.57 A/m is obtained.

Key words: paper－thin steel strip of grain oriented silicon steel; annealing temperature; holding time; magnetic property

冷轧取向硅钢极薄带是指碳含量很低，厚度不大于0.10 mm，含3% Si－Fe的晶粒按（110）<001>位向规则排列的取向硅钢金属功能材料。它主要用于各种变压器的铁芯，是电力、电子和军事工业中不可或缺的重要软磁合金。减少用于工作频率不低于400 Hz的高频变压器、脉冲变压器、脉冲发电机和大功率磁放大器等电器元件单位损耗的最重要的一个途径就是生产和使用厚度更薄的硅钢板[1－2]，因

* 收稿日期：2020－08－13

作者简介：霍慧贤（1973－），女，辽宁省营口市人，硕士，工程师，现从事取向硅钢的研发及生产设备维护工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

此制备取向硅钢极薄带成为许多科研工作者的研究方向。目前轧制厚度为 0.03 mm、0.05 mm、0.08 mm的取向硅钢极薄带广泛应用于电抗器、精密电子、电脑组件、智能硬件、电能电力组件、智能汽车连接器、仪器仪表、航空航天、高铁动车、通讯组件、精密加工、医疗器械、军工制造等高端行业[3]。本文针对中高频设备用户使用的市场需求，着重研究了不同退火温度与机组运行速度(即保温时间)的热处理工艺条件对取向硅钢极薄带磁性能的影响，从而确定 0.08 mm 厚含 3% Si－Fe 取向硅钢极薄带的制作工艺。

1　试验材料与方法

采用我公司生产的厚度为 0.27 mm，料宽 285 mm的中高牌号的高磁感取向硅钢成品作为原料，其成分见表 1。

表 1　高磁感取向硅钢原料的化学成分(质量分数)　%

C	Si	Mn	P	S	Al_s	Cu	N	O
0.002 4～0.0031	3.01～3.11	0.17～0.18	0.010～0.012	0.006 6～0.007 8	0.019～0.022	0.52～0.53	0.011 5～0.011 9	0.059 8～0.634 0

(1) 原料用化学方法去除底层(取向硅钢在高温退火过程中，涂覆在钢带表面的 MgO 与钢带表面的 SiO_2 氧化膜起化学反应 $2MgO + SiO_2 \rightarrow Mg_2SiO_4$，形成致密的硅酸镁玻璃质底层，该底层的质量与硅钢带成品的磁特性和外观质量存在密切的关系)。

(2) 试验中经过 3—5 道次同步轧制，找出最佳的轧制压下量与每道次的压下率，用以制备成 0.08 mm的极薄带。

(3) 再经过清洗过程，清洗目的是用清洗剂清洗掉经过轧机轧制过程中粘在钢带上的乳化液。

(4) 然后是退火，试验中我们采用温度为 860 ℃、880 ℃、900 ℃、950 ℃ 4 种工艺在马弗炉进行连续退火，获得良好磁性能最合适的退火工艺。

(5) 接着是涂层工艺，涂层的目的是给钢带涂上绝缘涂液，避免钢带层与层之间导电。

(6) 最后一道程序是数控分条到需要尺寸。钢带经连续退火、绝缘涂层后，按照标准 YB/T 5224—2014[4] 中要求的方法在钢卷头部、中部、尾部进行取样，样片剪成 300 mm × 30 mm 大小后进行测试，检测方法是爱泼斯坦方圈法。测量样品的磁感应强度 B_8，矫顽力 H_c，铁损 $P_{1.5}$，所有检测项目均用 MATS－3000M硅钢材料测量装置进行测量，该仪器是一种专门用于检测硅钢片磁特性的测量仪器。

2　试验结果和讨论

本试验在不同退火温度与机组运行速度下获得的电磁性能，其中机组运行速度决定退火保温时间的长短，运行速度快，保温时间短；运行速度慢，保温时间长。并就退火温度与机组运行速度对磁感应强度，矫顽力，铁损的影响变化曲线如图 1，图 2，图 3 所示。

下面是不同退火温度 X 机组运行速度对取向硅钢极薄带磁性能的影响。

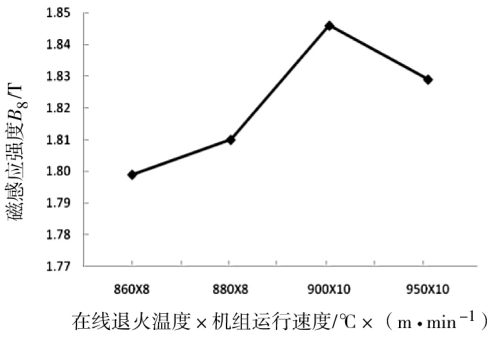


图 1　不同退火温度 X 机组运行速度对磁感应强度的影响

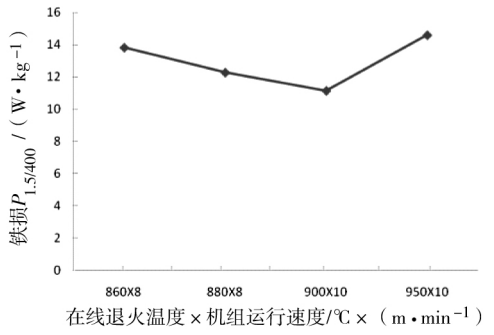


图 2　不同退火温度 X 机组运行速度对铁损的影响

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

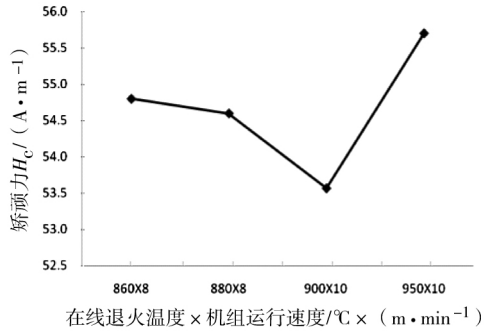


图3 不同退火温度X机组运行速度对矫顽力的影响

由图可见,退火温度对成品磁感应强度的影响看,随着退火温度从860~950 ℃逐渐升高,磁感应强度B_8从低逐渐升高,当达到900 ℃最大值1.846 T后又逐渐降低。而铁损$P_{1.5/400}$恰好相反,随温度的升高先降低后升高,在900 ℃时达到最低值11.15 W/kg。不同退火温度对矫顽力H_c的影响曲线呈现先降低到900 ℃,H_c的最低点53.57 A/m后上升。(据中频用电工钢薄带冶金行业标准记载牌号为10Q1450的取向硅钢薄带最大比总损耗$P_{1.5/400}$ = 14.5 W/kg,频率H为400 Hz时的最小磁极化强度为1.78 T)[4]。

影响磁感应强度的因素:在Si含量不变的情况下,取向硅钢的磁感应强度只与(110)<001>晶粒取向度或(110)<001>位向偏离角有关。取向度越高、偏离角越小,则磁感应强度越高[5]。取向硅钢的杂质含量、夹杂物和析出物数量及分布状态等对磁感应强度的直接影响不大,但对于形成(110)<001>织构的再结晶发展或者说晶粒取向度有很大影响[6]。当以具有高斯取向的二次再结晶成品高磁感取向硅钢为原料,经过60%~70%的冷轧转变为(111)<112>冷轧织构,再经初次再结晶退火后又转变为(110)<001>高斯织构,从而获得磁性优良的硅钢薄带[7]。

再结晶是热激活的过程。在再结晶过程中,通过晶粒的形核和长大吞并形变和回复的基体,即初次再结晶或不连续再结晶。通过初次再结晶方法生产取向硅钢薄带时存在最佳退火温度和最佳保温时间的问题。当达到最佳退火温度和最佳保温时间时取向硅钢薄带初次再结晶完全,晶粒分布比较均匀,再结晶后晶粒为强(110)<001>位向,高斯织构强度达到最大值,薄带磁性能最好。而随着温度升高,发生二次再结晶或异常长大,二次再结晶的发生破坏了初次再结晶的晶粒的取向度,磁性能下降[8-9]。本试验研究证明900℃×10 m/min为最佳热处理工艺。

3 结论

(1)在退火温度为900 ℃×10 m/min时可以获得较高的磁感应强度,较低的铁损和矫顽力,所以900 ℃×10 m/min为本次试验的最优工艺。

(2)经过3道次轧制,第一道次压下率为41%,第二道次压下率为28%,第三道次压下率为30%的工艺来轧制0.08 mm的极薄带。而4道次工艺轧制时,在第一道次小压下量的情况下,会形成孪晶,在第二道次轧制时容易断带;并且4道次轧制加工硬化比较严重,所以应采用第一道次大压下量的方法进行轧制,防止产生孪晶与加工硬化,对后续生产产生影响。

(3)取向硅钢极薄带的制备工艺是决定其硅钢组织织构和性能的重要因素之一。经试验研究确定最终的工艺流程如下:0.27 mm取向硅钢成品→去硅酸镁玻璃底层处理→经过3道次轧制到0.08 mm→分剪580 mm至料宽285 mm→清洗→900 ℃×10 m/min退火→表面涂层烘干→数控分条→性能检测→包装出库。

参考文献

[1] 林希峰,刘静,陈朝阳,等. 冷轧压下量对取向硅钢极薄带显微组织的影响[J]. 金属热处理,2012,37(11):76-78.
[2] 高秀华,齐克敏,邱春林,等. 热处理参数对异步轧制硅钢极薄带三次再结晶的影响[J]. 东北大学学报(自然科学版),2005,26(1):55-58.
[3] 陈卓. 极薄取向硅钢制备方法的进步及需求研究[J]. 电工钢,2019,1(1):5-7.
[4] YB/T 5224—2014,中频用电工钢薄带[S].
[5] 钟定文. 铁磁学[M]. 北京:科学出版社,1987.
[6] 何忠治. 电工钢[M]. 北京:冶金工业出版社,2012.
[7] 范立学. 异步轧制对硅钢薄带织构和磁性能影响机理的研究[D]. 沈阳:东北大学,2008.
[8] 陈树根. 0.03 mm厚取向硅钢极薄带的研究[J]. 仪表材料,1983,14(6):15-22.
[9] 杨佳欣,吴章汉,骆忠汉,等. 取向硅钢极薄带制备工艺的研究[A]. 2017第十四届中国电工钢学术年会论文集[C]. 北京:冶金工业出版社,2017.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net