退火温度和时间对冷轧无取向硅钢组织与织构的影响

罗来辉[1],李耀辉[2],徐向棋[1]

(1.铜陵学院机械系,安徽 铜陵 244000;2.马鞍山钢铁公司,安徽 马鞍山 243000)

摘 要:针对冷轧无取向硅钢退火工艺的特点,研究了退火温度和保温时间对成分为0.004%C、0.33%Si的冷轧无取向硅钢晶粒组织和织构演变的影响。结果表明:退火后,α线上{100}织构密度明显减弱,取向从{112}<110>向{111}<112>大量聚集;适当增加保温时间有助于提高{100}<hkl>织构,900 ℃、保温180 s,水冷得到的织构分布比较均匀,{001}面织构占有率比较高。

关键词:无取向硅钢;退火;织构

中图分类号:TG337.3 **文献标识码**:A **文章编号**:1004-7638(2007)03-0047-04

Influence of Annealing Temperature and Time on Structure and Texture of Cold Rolled Non-oriented Silicon Steel

Luo Laihui[1], Li Yaohui[2], Xu Xiangqi[1]

(1.Tongling Institute, Tongling 244000, Anhui, China; 2.Ma'anshan Iron & Steel Company, Ma'anshan 243000, Anhui, China)

Abstract: Considering the annealing technology of cold rolled non-oriented silicon steel, the effects of annealing temperature and time on structure and texture are investigated. The results show that the density of {100} texture drops obviously in the α line and grains get together from {112}<110> to {111}<112> after annealed. The {100}<hkl> texture increases with the proper lasting of incubation time. The texture distributes homogeneous and the occupancy of {001} texture are improved when the cold rolled non-oriented silicon steel is annealed at 900 ℃, holding 180 s and then water cooling.

Key words: non-oriented silicon steel; anneal; texture

0 引言

无取向硅钢是制造家用电器及微型和中小型电机的重要材料,冷轧无取向低碳低硅钢因其具有磁感应强度高、工艺简单、制造成本低等优点,可提高电机效率,降低电耗并能减小电机体积和节约制造用材[1]。随着我国与国际市场的接轨,提高高效电机铁芯专用的无取向硅钢的电磁性能和加工性能及降低生产成本是冷轧无取向硅钢的发展趋势。

无取向硅钢的电磁性能通常取决于材质的纯净度、夹杂物聚集的程度和再结晶组织。目前在发展无取向硅钢的途径上,控制晶粒尺寸和材料纯度的成果很多,而控制产品形成{hkl}面织构,尤其是{100}面织构,能同时降低铁损值和提高磁感应强度[2]的相关研究却较少。为此,笔者研究了退火工艺对含硅量为0.33%(质量分数,以下同)的无取向硅钢晶粒尺寸及晶体织构的影响,并对相关机理进行了分析。

收稿日期:2007-01-12

作者简介:罗来辉(1963—),男,安徽阜阳人,讲师,主要从事金属材料研究。

1 实验材料及方法

试验选用太钢提供的厚度为2.75 mm,经过酸洗的热轧硅钢板,其主要化学成分见表1。

原始试样通过可逆、6道次冷轧至0.5 mm厚,再利用自制保护气氛退火炉(SK-Ø60×400)进行退火,温度分别为880 ℃和900 ℃,保温时间为150 s,180 s,210 s;退火气氛使用氮气(80%)+氨气(20%)的混合气体。试样尺寸为8 mm×12 mm,退火后对试样进行抛光腐蚀并进行金相观察。通过组织观察选取合适试样,利用Bruker AXS型X-射线衍射仪的钴(Co)靶对冷轧和退火试样进行极图的测量。首先检测试样表层的{110}、{112}、{200}三个不完全极图,然后利用Bunge极数展开法计算试样的取向分布函数(ODF)。

表1 实验钢的主要化学成分

Table 1 Chemical composition of experimental steel %

C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Cu
0.003 8	0.33	0.38	0.099	0.007 3	0.32	微量	微量	微量

2 实验结果及分析

2.1 退火工艺对晶粒大小及均匀性的影响

退火工艺及退火试样的金相组织见表2和图1,从图1和表2中可以看出,3号试样的平均晶粒尺寸较小,并且方差也比较小,均匀性较好,而其它试样的显微组织比较粗大,并且晶粒均匀性比较差。与在880 ℃退火相比,在900 ℃退火时晶粒退火更充分,晶粒尺寸更加均匀;从保温时间上看,通过180 s保温退火得到的组织最好,保温210 s时,晶粒粗化,而保温150 s时,再结晶晶粒没有得到完全退火,出现异常晶粒。故从退火温度和保温时间综合考虑,试样在900 ℃退火,保温时间为180 s得到的组织最佳。

2.2 退火工艺对再结晶织构的影响

对于体心立方晶体的织构分析常用恒φ_1从0°到90°每间隔5°截取取向空间,然后在各截面上给出取向密度的等密度线,其中$\varphi_1=0°$和90°两截面尤为

表2 试样退火工艺及晶粒尺寸

Table 2 Annealing craft and grain size of non-oriented silicon steel

试样	退火温度/℃	保温时间/s	平均晶粒尺寸/μm	标准方差
1#	880	150	35.20	12.56
2#	880	180	30.94	11.71
3#	900	180	27.56	9.80
4#	900	210	31.06	11.20

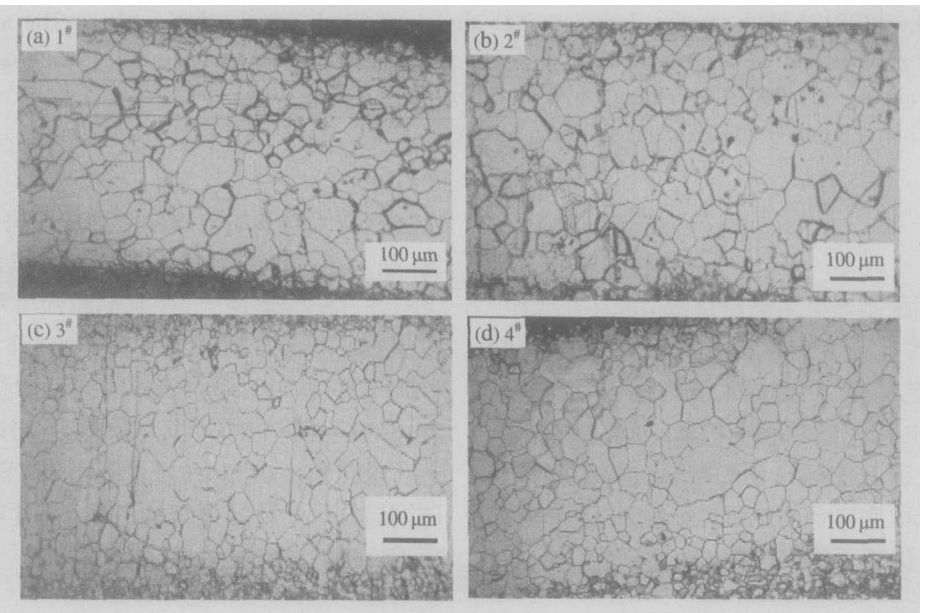

图1 退火试样的金相组织

Fig.1 Metallurgical structure of annealed sample

重要。图 2 为冷轧变形后 φ_1 为 0°和 90°截面上的晶粒取向分布图,可以看出,冷轧织构主要聚集在 α 线和 γ 线上。{001} < 110 > 织构密度达到了 12,而{111} < 112 > 织构密度不是很高,这主要是因为通过变形,在冷轧时{211} < 111 > 滑移系统起着重要作用,使{111} < 112 > 附近位向分解,并加强了{211} < 111 > 滑移系统,因此{112} < 110 > 和{100} < 110 > 组分进一步提高,而{111} < 112 > 强度不是很高,从图 2 看出{112} < 110 > 位向是最强的组分。

由图 3 依据体心立方晶体在 φ_1 = 0°和 90°截面上各取向的位置可知:1#、2#和 4#试样的表层显示了很强的{111}面平行于轧面的织构,密度达到了 12;在{110} < 110 > 和{111} < 110 > 之间有少量的取向分布;{100} < 110 > 织构的密度也比较低。3#试样的{100} < 110 > 的密度也只有 2,而{111} < 112 > 织构的密度只有 8,比其它三个试样更低,所以,3#试样的{100}面织构的占有率比其它几个试样要高。

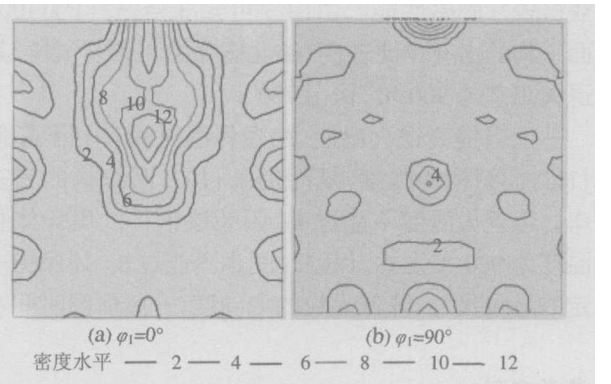

图 2　冷轧变形后不同截面的 ODF 图
Fig.2　ODF of cold - rolled sample

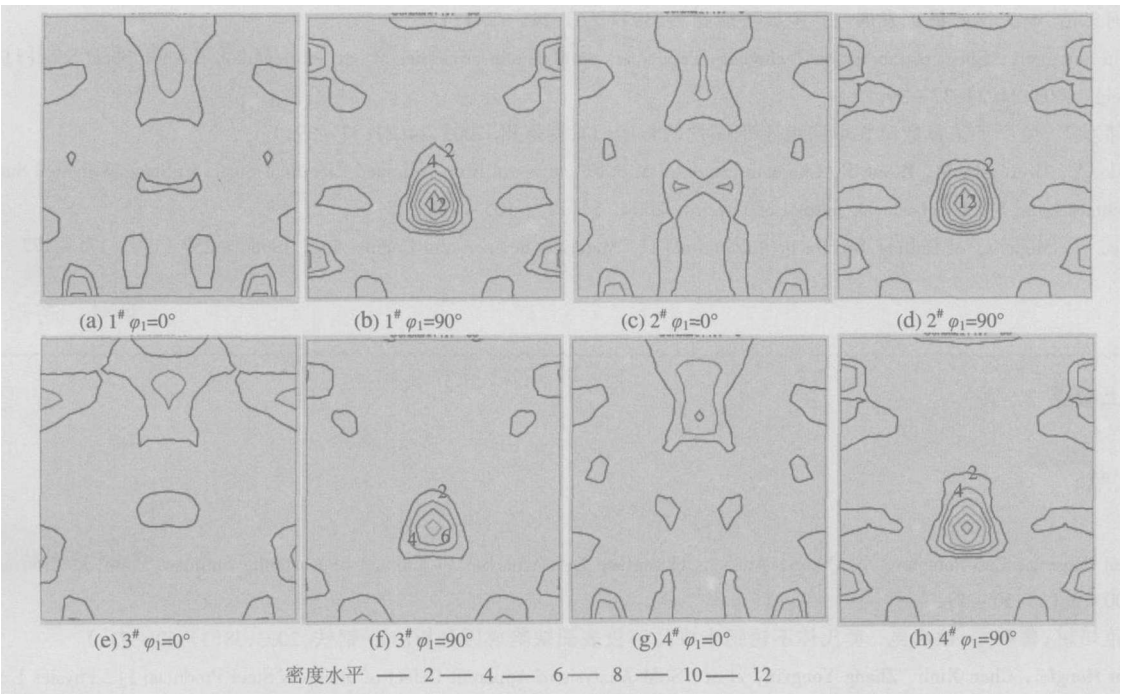

图 3　不同试样的 ODF 截面图
Fig.3　ODF of annealing sample

与冷轧态试样的变形织构比较,退火态试样 α 线上{001} < 110 > 织构强度明显减弱,而且{111} < 110 > 织构消失,晶粒取向从{112} < 110 > 向{111} < 112 > 大量聚集。由于无取向硅钢冷轧后各位向组分的储能是不相同的,从大到小的顺序为:{110} → {111} → {112} → {100}[3,4]。因此在退火时{110} < 100 > 晶粒首先回复和再结晶,最终在初次再结晶基体中{110} < 100 > 晶粒半径比基体平均半径更大些;{100} < 110 > 晶粒最易滑移,位错密度低,所以最难再结晶。因此{112} < 110 > 与{111} < 110 > 取向基本消失,绝大多数取向聚集到{111} < 112 > 上。再结晶织构是由几个织构组分组成,在正常晶粒长大时会加强某些组分,而使另外的组分减弱。这取决于晶粒尺寸或晶界曲面率等。再结晶织构与冷轧织构相比,退火后 < 110 > α 织构减弱,特别是{100}附近的组分减弱, < 111 > γ 织构也有一定的变化。

硅铁单晶体 < 001 > 晶向为易磁化方向,对于硅钢板,为了降低铁损提高磁感,希望有尽可能多的晶

粒其<001>晶向平行于磁力线方向。无取向硅钢则要求形成{100}面织构,使在平行于硅钢片表面的任意方向都有较多晶粒的<001>晶向与之平行而获得较好的磁性能。由图3可知3号试样的{100}面织构的占有率比较高,磁性能会优于其它试样,其退火工艺为900 ℃,保温180 s。

适当提高退火温度,缩短保温时间有利于降低{111}面织构的强度,从而提高{100}面织构的占有率。但退火温度不能过高,因为该钢种的奥氏体化温度为920 ℃左右,保温时间也不能过长,为保持一定的晶粒尺寸,降低晶粒的取向度,一般保温时间在180 s左右。

3 结论

(1)低碳低硅冷轧无取向硅钢经900 ℃退火,保温180 s,其表层α线上{100}织构强度减弱,{112}<110>与{111}<110>织构基本消失,晶粒取向从{112}<110>向{111}<112>大量聚集。

(2)退火温度对再结晶织构影响很大,适当增加保温时间有助于提高{100}<hkl>织构占有率,退火温度900 ℃,保温180 s得到的{100}面织构占有率比较高。

参考文献:

[1] He Zhongzhi. Recent Development of Electrical Steel[J]. Metallic Functional Materials, 1997, (6): 241 - 247.
(何忠治.电工钢的最近发展[J].金属功能材料,1997,(6):241 - 247.)

[2] Chu Shuangjie. Effect of Production Technology Parameters on Magnetic Properties of Non - orientation Electric Sheet Steel[J]. Special Steel, 2003, 24(2): 37 - 39.
(储双杰.生产工艺参数对无取向电工钢磁性的影响[J].特殊钢,2003,24(2):37 - 39.)

[3] Sidor Y, Dzubinsky M, Kovac F. Characterization of Microstructures in Non - oriented Electrical Steels Utilizing Weighted Sum of Elementary Data[J]. Czechoslovak Journal of Physics, 2004, 54(12): 105 - 108.

[4] Mao W. Modeling of Rolling Texture in Aaluminum[J]. Materials Science and Engineering, 1998, A257 (12): 171 - 177.

编辑 苟淑云

(上接第32页)

参考文献:

[1] Fan Peigeng, Cao Pengjun, Xu Qikun. Analysis of Surface Defect on Semi - product of Austenite Stainless Plate[J]. Iron and Steel, 2003, 38(3): 50 - 53.
(范培耕,曹鹏军,徐启昆. 奥氏体不锈钢半成品钢板表面缺陷成因分析[J]. 钢铁,2003,38(3):50 - 53.)

[2] Xu Hongfei, Chen Xinli, Zhang Yongxin, *et al*. SEM Analysis of Apparent Defect of Stainless Steel Products[J]. Physics Examination and Testing, 2005, 23(2): 55 - 59.
(许宏飞, 陈新力, 张永信,等. 不锈钢制品表观缺陷的SEM分析[J].物理测试,2005,23(2):55 - 59.)

[3] Simmons J W. Overview: High - nitrogen Alloying of Stainles Steels[J]. Materials Sci & Enger, 1996, 207A: 159 - 169.

[4] Liu Delu, Shao Weiran, Sun Xianwen, *et al*. Superficial Banded Structure and Its Effects on Bending Flaws of Low Carbon Steel Strips [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2005, 27(1): 40 - 44.
(柳得橹,邵伟然,孙贤文,等.钢的表面带状组织及其引起的冷弯裂纹[J]. 北京科技大学学报,2005,27(1):40 - 44.)

[5] Offerman S E, Van D N, REkveldt M T, *et al*. Ferrite/Pearlite Band Formation in Hot Rolled Medium Carbon Steel[J]. Mater Sci. Technol., 2002, 19(6): 297.

[6] Huang Xianqiu, Lu Ying, Yang Dake, *et al*. Analysis of Surface Black Spots on Cold Rolled Pickled Steel Sheets[J]. Iron and Steel, 2005, 40(5): 72 - 74.
(黄先球,卢 鹰,杨大可,等. 冷轧酸洗钢板表面黑斑缺陷分析[J]. 钢铁,2005,40(5):72 - 74.)

编辑 余文华