

冷轧硅钢片磁性能测量因素的分析

傅志强 郭俊诚 赵江勇 贺翠翠
(天津出入境检验检疫局,天津 300456)

摘要 采用硅钢片磁性能测试系统,分析了测试环境温度(10~30℃)、试样质量(642~667g)和剪切应力(剪切1~5次)对国内外不同牌号0.27~0.50mm取向和无取向冷轧硅钢片磁性能的影响。结果表明,随环境温度升高,冷轧硅钢片的铁损和磁感降低;随试样质量增加,铁损增加,磁感降低;随剪切次数增加铁损递增,磁感递减。文中归纳出磁性能测量的适合条件和注意事项。

关键词 冷轧硅钢片 磁性能 测试温度 试样质量 剪切应力

An Analysis of Influence of Measurement Factors on Magnetic Properties of Cold-Rolled Silicon Steel Sheet

Fu Zhiqiang, Guo Juncheng, Zhao Jiangyong and He Cuicui
(Tianjin Entry-Exit Inspection & Quarantine Bureau, Tianjin 300456)

Abstract Influence of test ambient temperature (10~30℃), sample mass (642~667g) and shearing stress (shearing 1~5 times) on magnetic properties of different grade 0.27~0.50mm oriented and non-oriented cold-rolled silicon steel sheet produced at home and abroad has been analyzed by using test system for magnetic properties of silicon steel sheet. Results show that with raising ambient temperature the iron loss and magnetic induction of cold-rolled silicon steel sheet decrease; with increasing sample mass the iron loss increases and the magnetic induction decreases; and with increasing shearing times the iron loss progressively increases and the magnetic induction progressively decreases. The suitable conditions and attention items for test magnetic properties are summarized in this article.

Material Index Cold-Rolled Silicon Steel Sheet, Magnetic Properties, Test Temperature, Sample Mass, Shearing Stress

磁性能检测方法主要有爱泼斯坦方圈和硅钢片单片测试法。爱泼斯坦方圈也称方圈法测量硅钢片,得到平均磁特性,不足是耗费硅钢片同时也很费时。硅钢片单片测试法快速,且可以减少浪费材料或不破坏材料。目前,硅钢片单片测试法是硅钢片流通领域检测中一类最重要的评定方法。因此,本文详细分析了硅钢片单片测试法在测试过程中各因素对测量结果的影响。

1 测试温度的影响

我国国家标准 GB/T3655-2008 和 GB/T13789-2008 中规定测量时环境温度为(23±5)℃,日本 JIS C2550-2000《电磁钢板试验方法》中也规定在环境温度为(23±5)℃下进行测试。故选定 10~30℃对硅钢片性能与温度的关系进行分析。

试验选取的样品为冷轧硅钢片,化学成分为(%):3~5Si、0.06C、0.15Mn、0.03P、0.25S、5.1~8.5Al。其中包括无取向性硅钢片:M250-50A、M330-65A、50W290、50W310;取向性硅钢片:27PH100、30G130、30P105、30P120,试样尺寸为标准的 500mm×500mm 试样,厚度为 0.27~0.50mm,

依据 GB/T13789-2008 标准进行铁损(无取向性硅钢片 $P_{1.5/50}$,取向性硅钢片 $P_{1.7/50}$)和磁感(无取向性硅钢片 B_{50} ,取向性硅钢片 B_8)的测量。测量装置为 SST-1500B 硅钢片测试仪。

图 1 和图 2 测量结果表明,随着环境温度的升高,冷轧硅钢片的铁损降低,磁感降低,基本呈线性分布。

为了保证冷轧硅钢片磁性能测试结果的准确性,测试时的环境温度应严格按照标准规定的(23±5)℃进行,尽量保持在较小的温差范围内。

2 试样质量的影响

试验样品选取取向性硅钢片 35Q155,试样规格为(mm)500×500×0.35,样品光滑平整,试验条件符合 GB/T13789-2008 要求。先将试样铁损及磁感测出,然后以 5g 为一单位逐步递增试样质量,观察并分析磁性能变化。

从图 3 可见,随着试样质量的递增,铁损值增加,磁感降低,反之亦然。根据 GB/T13789-2008,比总功率损耗(铁损) P_t 计算公式如下:

$$P_s = \left[P \frac{N_1}{N_2} - \frac{(1.111 \times |\bar{U}_2|)^2}{R_i} \right] \frac{l}{ml_m}$$

$$|\bar{U}_2| = 4fN_2 \frac{R_i}{R_i + R_t} A \hat{j}, A = \frac{m}{l\rho_m}$$

式中: P_s - 试样的比总功率损耗/($W \cdot kg^{-1}$); P - 功率表测量的功率/ W ; N_1 - 初级绕组的匝数; N_2 - 次级绕组的匝数; R_i - 次级回路中仪表的总电阻/ Ω ; $|\bar{U}_2|$ - 次级整流电压平均值/ V ; m - 试样质量/ kg ; l - 试样长度/ m ; l_m - 约定磁路长度/ m ; f - 频率/ Hz ; R_t - 磁导计次级绕组和互感线圈的次级绕组的串联电阻/ Ω ; A - 试样横截面积/ m^2 ; \hat{j} - 磁极化强度的峰值/ T ; ρ_m - 试样材料密度的约定值/($kg \cdot m^{-3}$)。

可见试样质量是影响铁损及磁感测量值的因素。对试样质量测量造成偏差的原因主要有以下3方面:(1)由于加工不当引起试样尺寸偏差、边缘毛刺,还包括试样是所贴标识,造成测量试样质量时出现偏差;(2)试样保存不当,长时间暴露潮湿空气中造成锈蚀,引起质量发生变化;(3)称量设备一般为电子天平本身造成的误差。

3 剪切应力的影响

在生产实践中,硅钢片需要经过剪裁、冲压、叠装,会产生内应力,从而使晶粒变形,导致磁导率下降,铁损增加^[1]。

3.1 退火试验

冷轧硅钢片在冷轧、冲压及剪切等过程中,由于机械应力及应变的存在而使其磁性能变坏,并且试样加工方式不同会带来不同程度的影响^[2],而退火却可以使磁性能得以部分恢复。依据 GB/T3655-2008 将试样剪切为 30 mm × 300 mm,厚度 0.27 ~ 0.50 mm,分别在退火前(正常状态)和退火后进行磁性能测量,退火工艺为冷

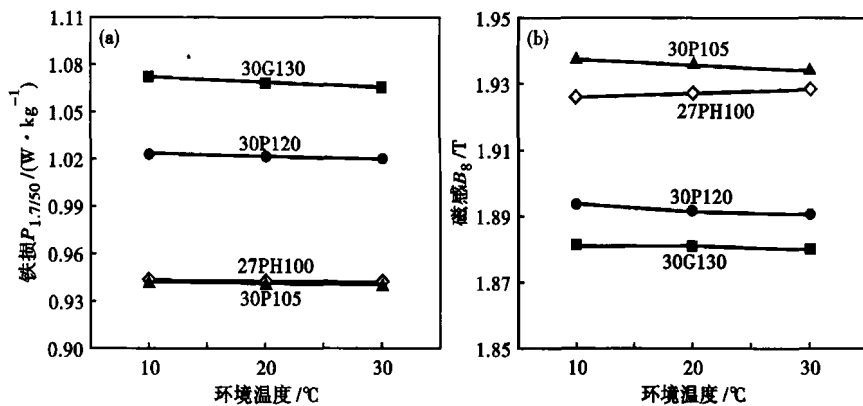


图1 测试温度对取向性硅钢片铁损 $P_{1.7/50}$ (a)和磁感 B_8 (b)的影响

Fig.1 Influence of test temperature on iron loss $P_{1.7/50}$ (a) and magnetic induction B_8 (b) of oriented silicon steel sheet

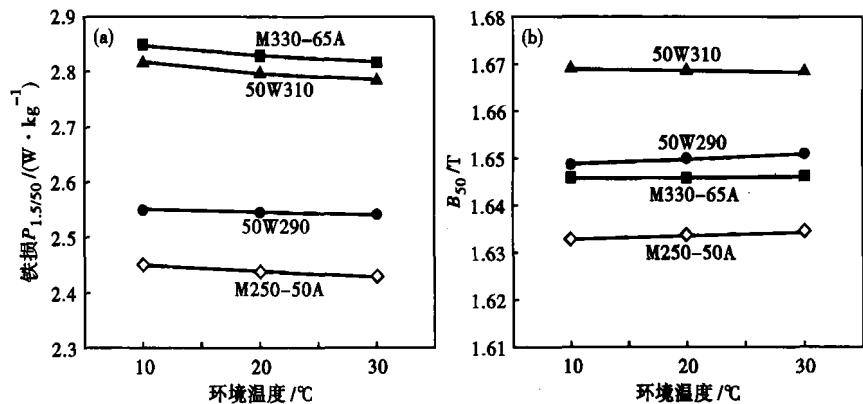


图2 测试温度对无取向性硅钢片铁损 $P_{1.5/50}$ (a)和磁感 B_{50} (b)的影响

Fig.2 Influence of test temperature on iron loss $P_{1.5/50}$ (a) and magnetic induction B_{50} (b) of non-oriented silicon steel sheet

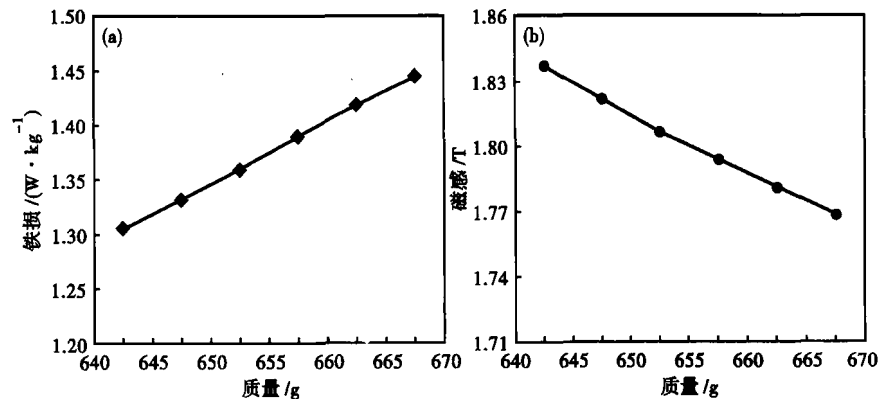


图3 试样质量对0.35 mm 35Q155取向硅钢片铁损(a)和磁感(b)的影响

Fig.3 Influence of sample mass on iron loss (a) and magnetic induction (b) of 0.35 mm 35Q155 oriented silicon steel sheet

轧取向电工钢带选用(800 ± 10)℃。冷轧无取向电工钢带选用680 ~ 750℃,退火气氛选用含氢2% ~ 10%的氢氮混合气体,恒温时间 ≥ 2 h。测量装置为 SST-1500B 硅钢片测试仪。

3.2 剪切次数试验

试验样品是随机选用的韩国和日本进口的 0.5 mm 冷轧无取向硅钢片,牌号为 S60、50A1300 和 S18 三种。各取三片硅钢片,剪切后制成 500 mm × 500 mm 的标准样品,依据 GB/T13789-2008 测量其磁性能,测量装置为 SST-1500B 硅钢片测试仪。将选用标准 500 mm × 500 mm 的冷轧无取向硅钢片的试样沿其轧制方向进行剪切,然后再粘贴成 500 mm × 500 mm 的试样。具体步骤如下:将上

述完整的标准样品(记为 A1)放入硅钢片测试仪中,测量其铁损 $P_{1.5/50}$ 和磁感 B_{50} ;沿硅钢片轧制方向在试样 1/5 位置剪切试样一次(记为 A2),用胶粘纸尽量粘贴紧密牢固,测量其铁损 $P_{1.5/50}$ 和磁感 B_{50} ;依照同样方法在试样 2/5、3/5、4/5 处,分别记为 A3、A4、A5,用胶粘纸尽量粘贴紧密牢固,分别依次测量其铁损 $P_{1.5/50}$ 和磁感 B_{50} 。

3.3 试验结果及分析

由表 1、表 2 的试验结果可以看出,退火后试样铁损值降低,磁感应强度升高。因此,经恰当的退火工艺后,试样磁性能明显得到改善。剪切应力使硅钢片的冲剪边缘产生晶粒歪曲和晶格畸变,破坏了硅钢片的磁畴分布等使导磁性能恶化,在冷轧硅钢片中更为明显。退火可消除冲剪应力,使冲剪周边歪曲的晶粒、畸变的晶格、凌乱的磁畴得以复原或改善,使磁性能得到适当恢复,消除或减轻冷轧硅钢片

表 1 退火前后无取向性硅钢片磁性能测试结果

Table 1 Test results of magnetic properties of non-oriented silicon steels sheet before and after annealing

牌号	试样状态	$P_{1.5/50}/(W \cdot kg^{-1})$	B_{50}/T
50W310	退火前	2.869	1.657
	退火后	2.623	1.664
50W350	退火前	2.783	1.655
	退火后	2.419	1.662

表 2 退火前后取向性硅钢片磁性能测试结果

Table 2 Test results of magnetic properties of oriented silicon steels sheet before and after annealing

牌号	试样状态	$P_{1.7/50}/(W \cdot kg^{-1})$	B_g/T
30G130	退火前	1.213	1.868
	退火后	1.061	1.901
27PH095	退火前	1.077	1.888
	退火后	0.962	1.922

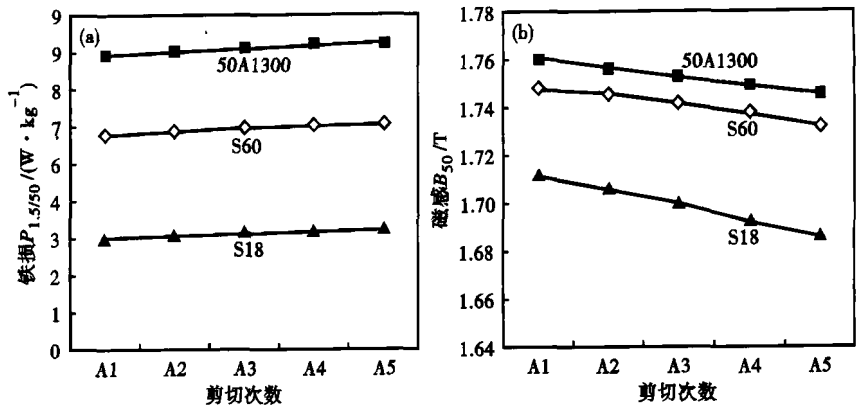


图 4 标准试样剪切次数对不同牌号硅钢片铁损(a)和磁感(b)的影响

Fig. 4 Influence of shearing times of standard sample on iron loss (a) and magnetic induction (b) of different grade silicon steel sheet

的剪切边缘效应^[3]。退火还可以烧掉冲片的毛刺,降低铁耗,减少杂散损耗。

图 4 结果表明,随着标准试样剪切次数的增加,铁损值逐渐递增,磁感逐渐递减,并且铁损的增幅和磁感的减幅逐渐升高。

从上述分析结果可得:(1)剪切硅钢片试样经恰当的消除应力退火工艺后,磁性能可明显得到改善;(2)剪切次数的多少或剪切长度、面积的大小对硅钢片的磁性能产生直接影响。因此,应当避免对所应用硅钢片不必要的剪切破坏。

4 结论

测试温度、试样质量、剪切应力对冷轧硅钢片的铁损和磁感有一定的影响。在严格按照标准检测的同时,测试温度应该尽量保持在较小的温差范围内;尽量减少试样加工不当、所贴标识、表面锈蚀、称量设备引起的试样质量的误差;尽量减少硅钢片试样在取制样过程中产生的剪切应力,以保证磁性能测量结果的准确性。

天津市自然科学基金资助项目(08JCYBJC09300)

参考文献

- 1 张升国. 消除应力退火对冷轧硅钢片性能的影响. 变压器, 1994, 31(6): 29
- 2 曹 标, 吴敬艳. 退火对经剪切制样的 35RG155 冷轧取向硅钢片磁性能的影响. 理化检验——物理分册, 2000, 36(5): 207
- 3 吕 平, 李振宇, 李积继. 消除冲剪边缘效应恢复冷轧硅钢片的高导磁性能. 防爆电机, 2004, 39(4): 13

傅志强(1971-),男,硕士,高级工程师,中国机械工程师会理化检验分会理事,金属材料进出口检验工作。

收稿日期:2010-10-11