

应力对铁磁构件磁畴组织的影响

任吉林, 潘强华, 唐继红, 陈晨, 杨胜

(南昌航空大学 无损检测技术教育部重点实验室, 南昌 330063)

摘要:地磁场环境中受载荷作用的铁磁试件,其内部会发生具有磁致伸缩性质的磁畴组织定向和不可逆的重新取向。利用 Bitter 粉纹法观察了未经磁化、受力程度不同的无取向硅钢片和 20 号钢试件的磁畴结构,对比分析了应力对磁畴的影响。结果表明:无取向硅钢片和 20 号钢试件在未受力或应力集中较小时,晶粒内磁畴以 180° 畴、树枝状畴和剑状畴为主,同一晶粒内畴壁相互平行;随着应力集中程度增加,畴壁长度和间距发生改变,出现了迷阵畴 I 型和迷阵畴 II 型,且应力集中程度越大,迷阵畴的数量越多。

关键词:铁磁构件;磁畴结构;Bitter 粉纹法;迷阵畴

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2010)03-0157-03

Experimental Research of Magnetic Memory Testing on the Effect of Stress on the Magnetic Domains

REN Ji-Lin, PAN Qiang-Hua, TANG Ji-Hong, CHEN Chen, YANG Sheng

(Key Lab of Nondestructive Testing, Ministry of Education, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

Abstract: Influenced by the earth magnetic field, orientation of the domain organization and irreversible reorientation will occur in internal organization of the loaded ferromagnetic material. The effects of stress on the domains of silicon steel sheet and 20# steel, which were loaded on the different load, the domains were observed with the Bitter method. The results showed that the silicon steel and 20# steel with the low load or no load, there mainly existed 180° domains, dendritic domains, gladiate domains whose walls were parallel with each other in a same crystalline grain, then, with the load enhancing, the domain walls' length and space changed and there existed mazy I domains and mazy II domains, and the number of the mazy domains increased with the load increasing.

Keywords: Magnetic memory test; Magnetic domain structure; Bitter method; Mazy domain

金属磁记忆检测是一种新的无损检测方法。它利用受载铁磁构件的磁记忆信号,可以确定在被测对象上以应力集中为特征的危險部位,能够对铁磁部件的损伤进行早期诊断^[1]。根据铁磁学基本原理,应力集中会导致其邻近区域磁特性发生变化,在外部磁场(如地磁场)存在时会产生磁场畸变^[2-3]。铁磁性在其未被磁化之前,其内部已存在自发磁化的小区域了,通常我们把这些小的区域叫做磁畴,把相邻磁畴之间的过渡层称为畴壁。在无磁化前,磁

畴的磁化向量是无序分布的,因此总的磁矩为零。在外加磁场的作用下,由于畴壁的运动或磁畴内磁矩方向的改变,铁磁体宏观上显示出很强的磁性,这种现象叫做磁化。

在磁性材料中,磁畴结构随合金成分、工艺参数和外磁场的不同,其变化是不一样的。而磁性材料的宏观磁性能主要是由磁畴结构及其运动变化方式所决定。目前,观测磁畴的方法已经有很多种,如粉纹图法、磁光效应法、电子显微术、X 射线形貌学法、电子全息照相术以及磁力显微镜等。笔者采用粉纹图法来观察磁畴在不同载荷下的变化规律,以便为金属磁记忆检测技术的微观机理提供很好的参考依据。

收稿日期: 2009-05-01

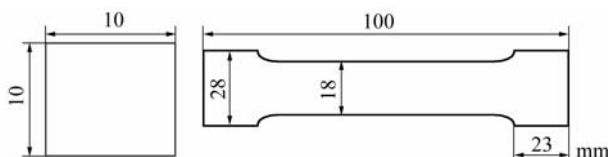
基金项目: 江西省自然科学基金资助项目(2007GZC1587); 无损检测技术教育部重点实验室基金资助项目(ZD200629001)

作者简介: 任吉林(1945—),男,教授,从事电磁检测研究。

1 试验过程

1.2 试样制备

以铁磁性金属材料 Fe-3%Si 冷轧取向硅钢片和 20 号钢为研究对象。其中硅钢片板厚 1.3 mm, 20 号钢板厚 2.0 mm。两种材料各制作了 10 个试样, 两者形状尺寸如图 1 示。



(a) 硅钢片样品

(b) 20 号钢样品

图 1 试样形状尺寸

1.1 设备

试验系统装置包括:

- (1) 化学试剂及器皿, 用于配置磁悬胶液。
- (2) GXQ-1 型金相试样镶嵌机, 用于样品的镶嵌处理。
- (3) 金相抛光机, 用于样品表面抛光处理, 主要技术参数: 直径 200 mm, 转速 680 r/min。
- (4) 金相显微镜, 用于磁畴照片的拍摄。
- (5) 微机控制电子式万能试验机, 用以对样品进行加载。

1.3 磁悬胶液制备

用粉纹法观察磁畴时, 能否在金相显微镜下看

到清晰的磁畴花样, 除了对样品表面的光洁度有一定要求外, 关键在于混悬胶液的制备, 即胶液中的 Fe_3O_4 颗粒大小是否适当, 要求既要有好的混悬性能, 又要容易在磁畴的边界上聚集, 而这些都与胶液中的 Fe_3O_4 颗粒大小有关。为得到清晰的磁畴图案, Fe_3O_4 磁性粒子直径 d 应满足相应的条件^[4-5]。

制备磁悬胶液的方法: 把微量的椰油胺加到 1N 盐酸中, 使其 PH 值为 7, 再用蒸馏水进行稀释, 然后加入少量的 Fe_3O_4 粉末。充分混合后, 滴入少许盐酸 (如有必要), 使 PH 值继续保持在 7, 最后再加蒸馏水稀释。通过强力搅拌后, 便制成了合格的磁悬液。

磁悬液制备好后, 对试件进行切割、退火、打磨和抛光等金相处理, 使试件满足金相观察要求; 再将配置好的磁悬液滴在试件观察面上, 等待磁悬液的水分自然蒸发, 此时, 由于样品表面的磁畴分界线上有散磁场的存在, 在数分钟内铁磁粉末会被散磁场吸聚在磁畴界限上^[5], 显示出畴壁, 从而可以很方便地观察到磁畴形貌。

2 试验结果与分析

2.1 应力对无取向硅钢片磁畴形貌的影响

分别将试件弯曲 45° , 90° , 135° 和 180° , 观察弯曲前后试件弯曲部位磁畴的形貌, 如图 2(a)~(e) 所示。

在弯曲的过程中, 试样折叠处既受到了拉伸也

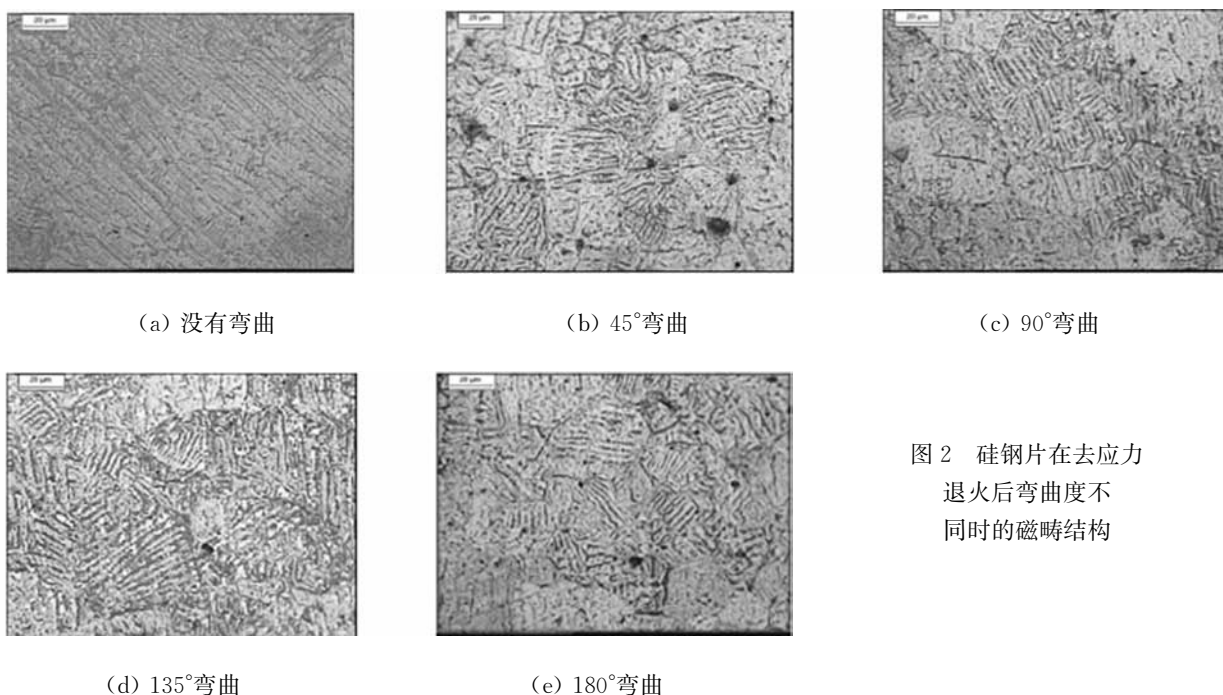


图 2 硅钢片在去应力退火后弯曲度不同的磁畴结构

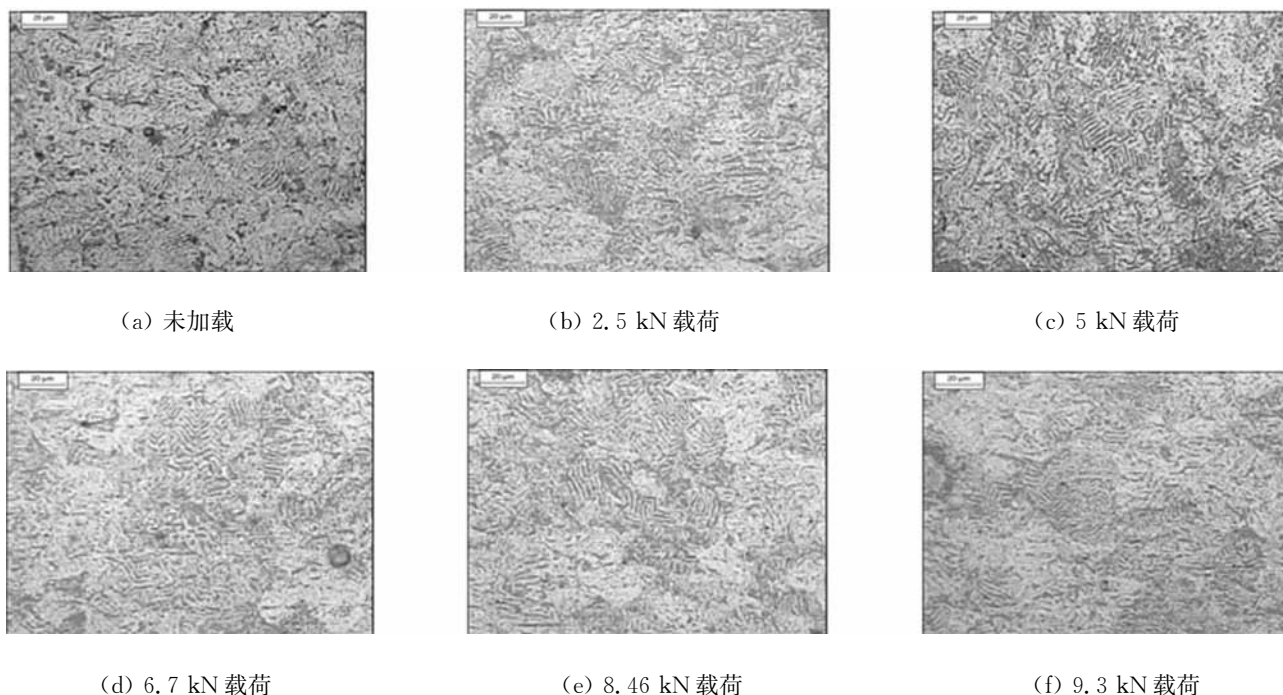


图3 20号钢在去应力退火后不同载荷下的磁畴结构

受到压缩的作用。从图2可以看出,试样未受力或受力较小时,磁畴结构以 180° 畴,树枝状畴,剑状畴为主;随着弯曲程度的增加,试样磁畴结构出现迷阵畴,弯曲角度达到 90° 后出现大量迷阵畴Ⅰ,弯曲角度达到 180° 后,出现大量的迷阵畴Ⅱ。应力程度不同时,随着应力的增加,大部分的磁畴畴壁长度增大,其垂直方向上磁畴畴壁长度减小,磁畴间距变窄并趋于均匀化。

2.2 拉应力对20号钢磁畴形貌的影响

20号钢试样分别在无载荷、载荷2.5, 5, 6.7, 8.46和9.3 kN的作用下,经轴向拉伸后与轴向平行侧面的磁畴的形貌如图3(a)~(f)所示。

可以看出,在拉应力作用下,载荷 <8.46 kN时,试件未发生或仅极小部分发生塑性变形,磁畴结构以 180° 畴、树枝状畴和剑状畴为主;随着载荷的增大,树枝状畴和剑状畴的数量增多,磁畴畴壁长度减小,畴壁间距减小,最后出现少量分散的迷阵畴区域;载荷 ≥ 8.46 kN时,试件进入塑性变形阶段,磁畴结构由大面积均匀迷阵畴转变为小且分散的迷阵畴区域,出现大量的迷阵畴Ⅰ,比较分散,当施加的载荷达到9.3 kN,迷阵畴Ⅰ的数量减少,迷阵畴Ⅱ数量增加,磁畴长度增大,畴壁间距减小并趋向均匀化,出现了小面积的迷阵畴区域。

3 结论

正是由于加载铁磁性材料存在力-磁效应,使得

加载铁磁体会产生磁滞伸缩性质的形变,引起内部磁畴在环境地磁场中产生畴壁位移甚至不可逆的重新取向排列,改变其自发磁化的方向,以增加磁弹性能,来抵消应力能的增加;而当外部动载荷消除后,由于材料内部存在内耗效应,使得加载在金属内部所形成的应力集中区也得以保留,为抵消应力集中区的残余应力能,磁畴组织的重新排列取向也会保留下来,并在试件表面形成漏磁场。从而从微观角度证明了金属磁记忆检测是以铁磁构件的力-磁效应为基础的。对进一步探讨金属磁记忆检测的微观机理有较好的参考价值。

参考文献:

- [1] 任吉林,林俊明. 金属磁记忆检测技术[M]. 北京:中国电力出版社,2000:44-78.
- [2] 文西芹,赵明光,杜玉玲,等. 铁磁材料的逆磁致伸缩效应实验研究[J]. 淮海工学院学报(自然科学版),2005,14(1):11-13.
- [3] 仲维畅. 铁磁性物体在地磁场中的自发运动磁化[J]. 无损检测,2005,27(12):626-654.
- [4] 戴道生. 铁磁学(上册)[M]. 北京:科学出版社,2000:103-138.
- [5] 钟文定. 铁磁学(中册)[M]. 北京:科学出版社,2000:162-170.