

新型磁记忆检测仪器

任吉林,王振,饶琪,宋凯,陈曦

(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:依据对磁记忆效应的法向分量过零点及切向分量最大值位置同时进行检测的磁记忆二维检测原理,设计研制了以微处理器为核心的新型磁记忆检测仪器。并通过实际工件的检测,试验验证了仪器工作的可行性,可望为进一步开展磁记忆二维检测定量分析提供有效的方法和试验依据。

关键词:磁记忆检测;二维;向量合成;仪器设计;定量分析

中图分类号:TG115.28

文献标志码:A

文章编号:1000-6656(2013)04-0070-05

A New-type Testing Instruments for Magnetic Memory

REN Ji-Lin, WANG Zhen, RAO Qi, SONG Kai, CHEN Xi

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

Abstract: The zero point in normal component and the maximum point in tangential component were together adopted to detect. The instrument was built with CPU and based on the principle of two-dimensional detection of magnetic memory. In addition, the test on the workpiece verified the feasibility of the instrument and showed that the instrument had good application prospects in the quantitative analysis of magnetic memory.

Keywords: Magnetic memory testing; Two-dimension; Vector synthesis; Instrument design; Quantitative analysis

金属磁记忆检测方法基于铁磁性材料构件的磁机械效应和磁弹性效应,利用构件在工作载荷和地磁场的共同作用下其内部会发生磁畴组织定向和不可逆的重新取向,在应力集中部位会形成漏磁场的现象,通过检测该漏磁场,并结合金属质量特性和被检构件的实际运行条件及其结构特点,即可对构件的应力状态做出综合评定。磁记忆检测仪器具有设备轻巧、操作简便、灵敏度高、可靠性好,以及提离效应影响小、不需要专门的磁化设备等特点^[1]。目前,现有磁记忆检测方法主要是根据单一方向上的漏磁场信号(法向分量)来进行判断,割裂了磁记忆效应漏磁场信号法向与切向分量之间存在的内在联系。

收稿日期:2012-09-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51065022);江西省仪器科学与技术学科研究生教育创新基地资助项目

作者简介:任吉林(1945—),男,教授,中国无损检测学会副理事长,长期从事电磁无损检测技术教学与研究工作。

笔者依据对磁记忆效应的法向分量过零点及切向分量最大值位置同时进行检测的磁记忆二维检测原理,设计了一种利用切向、法向分量联合检测的新型磁记忆检测仪器,即同时采用切向和法向的磁记忆信号作为判定依据,对应力集中部位进行评价。通过实际工件的检测试验验证,采用这种结合切向和法向分量的分析手段进行检测时,比单一的法向分量过零的检测能更有效地进行磁记忆检测信号的判断及分析。

1 磁记忆二维检测原理

从能量的角度分析,在外应力的作用下,铁磁体内部产生应力能,在构件的应力集中区聚集相当高的应力能。在“能量最小原则”的作用下,铁磁体产生磁致伸缩性质的形变,引起内部磁畴在环境磁场中作畴壁的位移甚至不逆转的重新取向排列,从而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。由于金属内部多种内耗效应(如粘弹性内耗、位错内耗等)的存在,使得动载荷消除后,加载时在金属内部形成的应力集中区得以保留。保留下来的应力集中区具有较高的应力能,为抵消应力能,磁畴组织的重新取向排列也会保留下,形成磁极,并在构件表面产生漏磁场。在应力撤除后,由于应力集中所造成的材料在该区域宏观磁特性的不连续性得到保留的现象则称之为磁记忆效应^[2-7]。由磁记忆效应在铁磁构件表面应力集中区产生的类似缺陷的漏磁场的分布形式如图 1 所示,具有磁场切向分量 $H_p(x)$ 为局部极大值,而法向分量 $H_p(y)$ 的符号发生改变的特征,且有过零点特征。

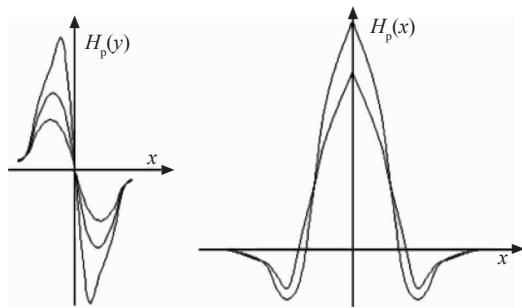


图 1 试件表面磁记忆效应的漏磁场分布

磁记忆二维检测就是结合切向和法向分量的特征进行综合分析。其法向分量与切向分量的获取方式如图 2 所示,首先获取被检试件三个互相垂直方向上的漏磁场强度(X_x, X_z, Y),其中 Y 向分量即法向磁场分量 $H_p(y)$;考虑到应力集中部位的切向磁场分量方向的任意性,可以采用矢量合成法,即将切向平面上任意二个相互垂直的 X_x, X_z 方向的磁场强度进行矢量合成,便可以得到切向磁场分量 $H_p(x)$ ^[8-11]。采用二维的磁记忆检测方法,可以同时反映出应力集中部位 $H_p(x)$ 及 $H_p(y)$ 两种信号的特征状态,避免了应力集中部位带有不连续性特征的信息丢失,不仅可以有效地减少检测误差,提高检测的可靠性,还能结合两个特征量在不同应力状态下的特征表现进行应力集中程度的判断,从而为磁

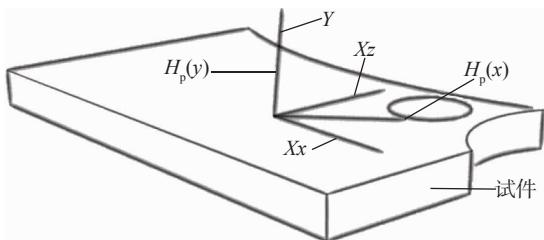


图 2 磁记忆二维检测原理示意图

记忆检测的定量分析提供了一种新思路。

2 仪器设计

仪器设计主要分为硬件与软件两个部分,即探头及附属电路的硬件电路设计和数据处理与显示的软件编制。

仪器采用磁敏电阻搭建的三维磁敏电阻电桥作为弱磁传感器^[11-15];由三维磁敏电阻电桥获取的法向分量 Y 和相互垂直的切向分量 X_x 和 X_z 的漏磁场信号经过滤波放大电路后传递给计算机平台;计算机平台通过数据采集和接口电路接收磁记忆信号,并利用 Python 语言编写的测试系统对信号进行数据处理;最后通过显示屏幕显示结果。系统结构图见图 3。

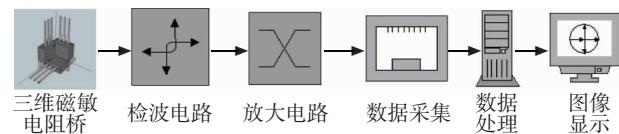


图 3 磁记忆二维检测系统结构图

2.1 硬件电路设计

根据上述原理设计了以微处理器为核心的、基于二维检测原理的磁记忆检测仪器,系统的硬件框图如图 4 所示。

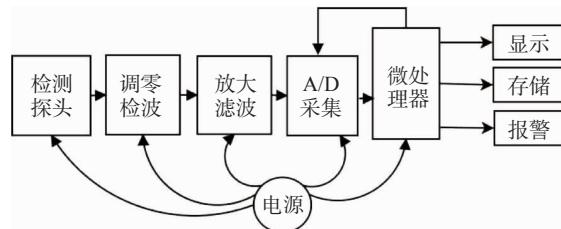


图 4 系统硬件功能框图

该系统由模拟前端、微处理器和电源管理等部分组成。模拟前端部分包括检测探头、调零检波、前置放大、平衡滤波、可调增益放大器、A/D 转换器、采集电路等,模拟前端将磁场强度的变化转换为微处理器可以处理的数字信号;微处理器部分则通过接口驱动控制 A/D 采集、数据显示、信息存储,报警等模块;微处理器采用便携的计算机平台,结合 Python 语言与 C 语言实现功能,鉴于 Python 语言对 C 语言的良好支持和本身强大的扩展性,以及计算机平台成熟的外设扩展,仪器的硬件电路设计和调试工作大大简化,同时也降低了系统的总功耗;电源管理部分为系统各个部分提供所需的电源电压;组装后的仪器采用计算机的 USB 接口电源进行供电,

并将上述模拟电路和探头整合在一起,成为筒式一体探头,如图 5 所示,使用时将一体式探头直接连接计算机即可。



图 5 组装后的仪器

2.2 系统软件编制

该仪器软件部分分三层进行设计,分别为硬件驱动层、应用程序层、人机交互层。其中硬件驱动层完成包括电路中所用数字芯片的初始化工作,例如:A/D 转换、各种接口驱动等。同时对仪器的各种参数,例如量程、采集频率、报警阈值,仪器调零等进行初始化配置。

应用程序层采用 Python 语言结合 C 语言编写,实现包括数字滤波、软件调零(消除地磁影响)、向量合成、曲线拟合等功能,在软件层面对信号进行处理。

人机交互层将上述硬件驱动层和应用程序层结合起来,方便使用者对仪器进行操作。人机交互层利用显示器对各种图形和操作工具栏进行显示,例如切向、法向分量的实时曲线和磁场强度值的显示,并且使用者可以通过定义的一些功能按钮来调节仪器的量程、采集频率等参数,同时根据不同的检测对象和检测要求选择不同的曲线显示,并且可以对检测结果进行局部地提取、保存和分析。

系统软件流程如图 6 所示。

3 试验测试

利用组装好的新型磁记忆检测仪器对实际工件进行了如下试验。

3.1 试验一

对某型号飞行器的轴套采用新型磁记忆检测仪器进行检测,试件形状如图 7 所示。

试件结构为三级轴套,对其进行渗透检测,在荧光灯下发现在一、二级轴套的垂直过渡面上有一个

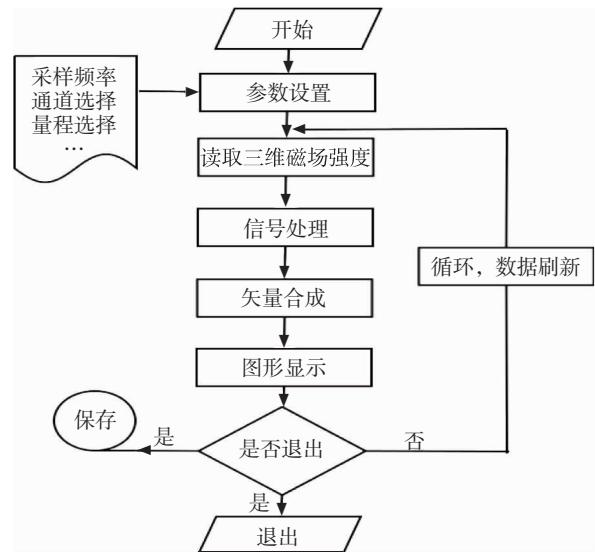


图 6 软件流程图



图 7 轴套实物图

极细的微裂纹存在,裂纹的一部分延伸到一级轴套上,如图 8 所示。



图 8 轴套渗透检测裂纹示意图

使用该新型磁记忆检测仪器在轴套的各个面进行扫查,在一、二级轴套交界处附近进行扫查时,发现一级轴套的边缘处(即微裂纹生长的延伸处)出现了法向分量过零,切向分量最大的现象。上述试验中,通过对该部位的反复扫查,探头获取的信号经过放大滤波、A/D 转换和信号的处理显示,在计算机屏幕上的显示如图 9 左下角所示:磁记忆二维信号随着探头在应力集中部位的反复扫查连续出现法向分量过零,切向分量最大现象,并有连续的报警提示,应力集中位置如图 9 中的方块处所示。试验结果表明利用该磁记忆检测仪器可以快速、准确、

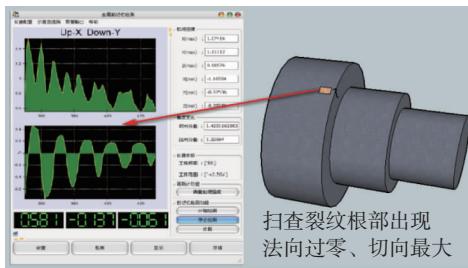


图 9 仪器检测结果示意图

可靠地确定构件上的应力集中部位。

3.2 试验二

对某型号飞机起落架部件进行疲劳试验,如图 10 所示。采用 SAWEA63/40 型电液伺服作动器,BK-1(2T)型力传感器,LETRY 型协调加载控制系统对起落架部件进行疲劳拉伸试验,载荷为 7 000 N,试验频率为 2~4 Hz。试验中,采用研制的磁记忆检测仪器和爱德森公司的 EMS-2000 金属磁记忆诊断仪分别对不同疲劳状态下起落架部件的环孔进行磁记忆检测,见图 11。并对两种仪器的检测结果进行对比。



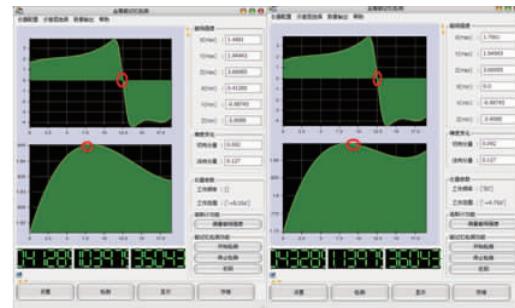
图 10 试件加载



图 11 试件检测

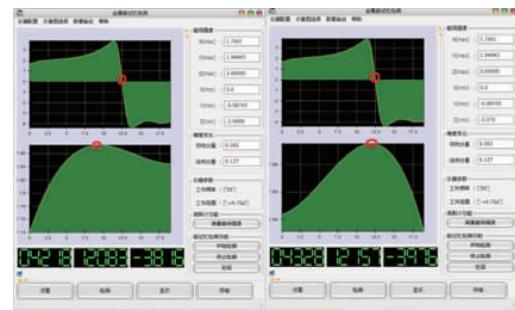
在起落架部件加载到 13,16,20,23 万次时分别对环孔部位进行磁记忆检测,新型磁记忆检测仪器将法向分量和切向分量磁场强度绘制在以探头移动距离为横坐标、磁场强度值为纵坐标的坐标系中。仪器显示如图 12 所示,其中,各图的上半部分为法向分量磁场强度在扫查路径上的分布,下半部分为切向分量磁场强度在扫查路径上的分布。

试件加载到 13 万次时,仪器显示如图 12(a)所示,其中,法向分量出现明显的过零现象,切向分量



(a) 13 万次

(b) 16 万次



(c) 20 万次

(d) 23 万次

图 12 加载到不同万次的仪器显示

局部会有一个最大值的现象,但是这两个特征点所表示的位置(横坐标)有较大距离(即两者在试件上的位置并没有对齐),同时切向分量最大的特征相对于法向分量的过零现象还不明显。随着加载次数增加,不仅法向分量出现过零及切向分量有最大值的现象趋于明显,而且,两者的位置也趋于靠近。当试件加载到 23 万次时,如图 12(d)所示,仪器显示出明显的法向过零及切向分量局部最大值现象,这两个特征点的位置(横坐标)也基本对齐,相对于 13 万次、16 万次、20 万次的显示,切向分量的幅值变化更加明显。

在整个加载过程中,由图 12(a)~(d)的显示表现出切向分量局部最大值点和法向分量的过零点是一个逐渐靠拢的过程,比较充分地体现了试件上应力集中程度不断增加的过程。试验中,当试件被加载到 24.6 万次时,试件在检测到的应力集中位置发生断裂。因此,通过综合比较在检测试验中发现的切向分量的幅值随应力集中程度会发生变化且不会在试件加载后迅速出现最大值的现象;以及法向分量过零点和切向分量局部最大点所对应于试件上的位置在初始加载时有一定的距离,但随着加载次数的增多,应力集中程度的增加,两点逐渐趋于重合的现象,就可以对试件上的应力集中程度进行有效地评估。

而上述试验中,作为参照的 EMS-2000 金属磁记忆诊断仪在不同的加载次数下检测的显示图像基本都一样,如图 13 所示,只出现一个法向分量过零的现象,由此看来,仅仅依靠磁记忆信号法向分量检测可以判断出试件表面应力集中部位,但难以区分 13 万和 23 万次加载过程中应力集中程度的变化情况。



图 13 EMS-2000 磁记忆检测仪器信号的显示

4 结论

依据对磁记忆效应的法向分量过零点及切向分量最大值位置同时进行检测的磁记忆二维检测原理,同时提取切向分量和法向分量的磁记忆特征信号,并对切向分量进行矢量合成,设计组装了可以实施快速、有效判断的新型磁记忆检测仪器,并通过试验验证了该仪器工作的可行性。同时,试验结果也表明新型磁记忆检测仪器可以较明显地区分及判断不同的应力集中程度,可为进一步开展磁记忆二维检测定量分析提供有效的方法和试验依据。

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,2000:5—20.
- [2] DOUBOV A A. Diagnostics of metal items and equipment by means of metal magnetic memory[C]// Proc of CHSNDT 7th Conference on NDT and International Research Symposium. Shantou, China: [s. n.], 1999: 181—187.
- [3] DOUBOV A A. The express technique of welded joints examination with use of metal magnetic memory [J]. NDT&E International, 2000, 33(6):351—362.
- [4] DOUBOV A A. Diagnostics of equipment and constructions strength with usage of magnetic memory inspection[J]. Diagnostics, 2001, 35(6):19—29.
- [5] 任吉林,林俊明. 电磁无损检测[M]. 北京:科学出版社,2008:377—379.
- [6] 仲维畅. 金属磁记忆法诊断的理论基础[J]. 无损检测, 2001, 23(10):424—426.
- [7] NOTOJI A. Strain magnetization properties and domain structure change of silicon steel sheets due to plastic stress [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2000, 36(5):3074—3077.
- [8] 黄松岭,李路明. 用金属磁记忆方法检测应力分布[J]. 无损检测, 2002, 24(5):212—214.
- [9] 任吉林,高春法,宋凯. 电站铁磁构件的磁记忆检测[J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(5):470—476.
- [10] 唐德东,周鹏. 磁记忆技术在管件裂纹检测中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(4):255—256.
- [11] 任吉林,王进. 一种磁记忆检测定量分析的新方法[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(2):431—436.
- [12] 任吉林,范振中. 基于小波包变换的磁记忆信号特征值的提取[J]. 无损检测, 2008, 30(9):184—186.
- [13] 王永龙,杨卫,石云波. 基于磁阻传感器的弱磁信号采集系统设计[J]. 传感器与微系统, 2008, 27(1):69—71.
- [14] 孔庆新,张朝晖,蓝金辉,等. 磁阻传感器中 SET-/RESET 充磁电路的分析[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(8):118—119.
- [15] 裴轶. 各向异性磁阻传感器的原理及其应用[J]. 仪表技术与传感器, 2004(8):26—29.

2013 年 ASNT III 级培训班通知

经与美国无损检测学会(ASNT)商定,中国机械工程学会无损检测分会将于 2013 年 9 月 10—12 日在学会秘书处所在地,上海市辉河路 100 号 3 号楼 6 楼,举办 2013 年 ASNT III 级考试班。

为了给学员一个学习消化的过程,中国机械工程学会无损检测分会决定于 2013 年 8 月 20 日—9 月 1 日在学会秘书处举办 ASNT III 级培训班。时间安排如下:

- 8 月 19 日 报到
- 8 月 20—22 日 基础
- 8 月 23—25 日 UT
- 8 月 26—28 日 RT
- 8 月 29—30 日 MT
- 8 月 31 日—9 月 1 日 PT

培训费用:每项方法 800 元/考卷,含资料费。

学员的食宿费自理,可要求学会秘书处提供就近的食宿信息。

联系人:朱亚青,王莹赟;地址:上海市辉河路 100 号 6 楼;邮编:200437;电话/传真:021-65550277, 55057699;手机:朱亚青 13601691591, 王莹赟 13817155883; E-mail: chsndt@sh163.net, chsndt2008@163.com。

请学员随时关注网站上(www.chsndt.com)的课程时间变化,以最新信息为准。

(中国机械工程学会无损检测分会)