

交变漏磁检测中螺纹不同缺陷位置的识别方法研究

康中尉

(西南电子电信技术研究所, 成都 610041)

摘要:依据缺陷在螺纹区域的不同位置,将缺陷分为三类,分析了每类缺陷检测信号的特点,提出了识别判据,最后通过对膨胀螺钉上的该三类缺陷的检测,验证了识别模型的正确性。另外,对六角头螺栓结构根部缺陷的检测进行了试验研究,利用测量信号完成了缺陷的检测。

关键词:交变漏磁检测;缺陷识别;信号分析

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2007)06-0326-04

Recognition of Flaw in Different Position of Screw Based on Alternating Magnetic Flux Leakage Inspection

KANG Zhong-wei

(Institute of South-west Electron & Telecom Technology, Chengdu 610041, China)

Abstract: According to the position of flaw in screw, all flaws were sorted into three kinds, and the characteristics of signal were analyzed, the model of flaw—recognition for each kind of flaw was expounded. At last, the model was proved by detecting the flaws in the inflate screw. It realized the flaw recognition of rhizomatic flaw in six—head screw by use of the detecting signal through the experiment on it.

Keywords: Alternating magnetic flux leakage inspection; Flaw recognition; Signal analysis

除涡流和超声检测外,漏磁检测是螺纹结构缺陷检测中最为常见的方法。传统的漏磁检测都采用直流磁化或者永磁铁磁化的方式^[1-4],传感器很难做到小型化,对于公称直径较小的螺纹,很难实现缺陷的检测。因此,笔者采用了交流磁化的方式,使其兼具涡流检测和漏磁检测的特点,即一方面检测信号较为简单,另一方面,由于激励场为交变场,表面的磁力线具有集肤效应,使其更适合检测表面裂纹^[5-8],而螺纹结构本身可以看作是紧密相连的具有相同结构的V形缺陷的组合,属于表面缺陷的一种方式,而根部的缺陷也就是叠加在该信号上的一个缺陷扰动信号,对于缺陷的识别,也就是对该扰动信号的分析 and 判别。

螺纹结构一般都位于工件的末端,当传感器沿

着具有螺纹结构的工件(如螺栓、双头螺柱、膨胀螺钉和普通螺钉等)时,必将在传感器逐步进入检测区域,以及由检测区域进入空气域的过程中,信号变化较为剧烈,该两个过程的信号具有自身的特点,与位于螺纹区域中间缺陷的检测信号特点不同,因此笔者将缺陷分为三类,对每类信号的特点进行了分析,并给出相应的识别模型。

1 螺纹结构缺陷分类及判断依据

根据缺陷在螺纹结构中的不同位置,将缺陷分为三类。对于每一类缺陷,由于检测信号特点的不同,虽然都可以根据提取局部极大值的方法进行检测,但是都有各自遵循的判断依据。

(1) I类缺陷(螺纹中部缺陷)的检测 该类缺陷的检测^[9]可遵循以下检测依据:去除螺纹开始和结束的两个极小值点,螺纹区域呈现双峰值的状态(这与具有一定宽度的单一裂纹的结果是一致的)。

收稿日期: 2005-09-14

作者简介: 康中尉(1974—),男,工程师,主要从事电子测量技术工作。

在无缺陷时检测信号是平滑的,如果在上述的光滑曲线上出现局部极小值,则视为存在缺陷,缺陷的深度越大,局部极小值引起的信号变化越剧烈。

(2) II类缺陷(螺纹开始处缺陷)的检测 遵循的检测依据是,在螺纹开始处,螺纹缺陷的存在会引起测量值的增大,而平行于螺纹轴的磁感应强度 B_x 在传感器到达第一个螺纹处达到最小值,随之将从最小值达到第一个峰值,因此,在缺陷处 B_x 的增大幅度大于无缺陷处,会出现较为剧烈的局部极大值,以此可以判断缺陷的存在与否。

(3) III类缺陷(螺纹结束处缺陷)的检测 在螺纹尾部,由于传感器的一极已经移出螺纹区域,在移出前随着传感器的移动,进入工件的磁力线减少,引起磁感应强度测量值的减少,而裂纹的存在会引起测量值的增大,出现峰值的局部极大值,因此可以利用螺纹区域缺陷的检测方法进行缺陷的识别。

由上分析可知, B_x 检测信号的局部极大值的变化与螺纹结构中的缺陷有直接关系,通过比较缺陷信号和完好场测量值的局部极大值曲线就可对螺纹结构进行定性评价,完成缺陷的识别。下面以膨胀螺钉的缺陷检测为例验证上述缺陷判据的正确性。

2 膨胀螺钉及其缺陷结构

图 1a 为膨胀螺钉全貌,尺寸为 12 mm × 100 mm,公称直径为 12 mm,总长 100 mm。缺陷 1 在第三条螺纹处(见 b 图),缺陷 2 和缺陷 3 分别在第一条螺纹和最后一条螺纹处(见 c 图)。

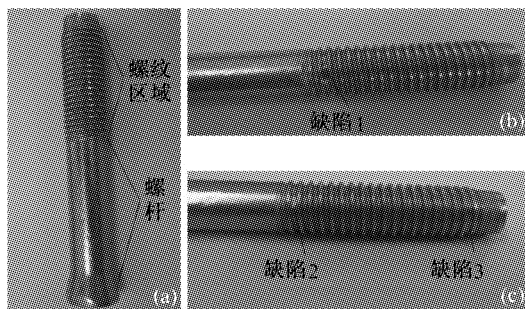
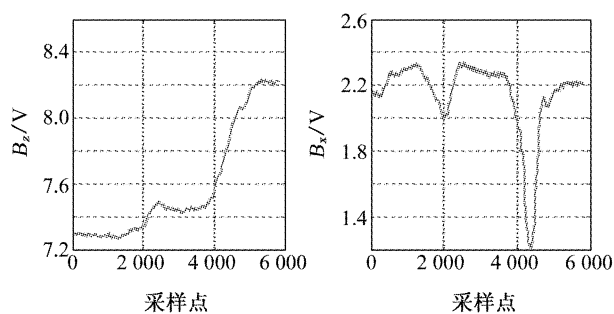


图 1 膨胀螺钉结构及缺陷结构示意图

对于无缺陷路径的 B_x (平行于螺纹轴的磁感应强度)和 B_z (垂直于轴平面的磁感应强度),检测信号如图 2 所示。可以看出,无缺陷膨胀螺钉的检测信号与前述分析的螺栓以及 $\phi 40$ mm 细牙普通螺纹(末端)的检测信号是一致的。在螺纹开始处,由于磁力线作用的螺纹个数的增加,导致 B_x 迅速下降;而在螺纹区域,保持双峰值的一个检测状态;在



(a) B_z 信号

(b) B_x 信号

图 2 无缺陷路径检测信号

螺纹结束处,由于磁力线作用的螺纹个数的减少, B_x 将迅速增加。

(1) 螺纹中部的缺陷 (I类缺陷)检测模型 对于缺陷 1 的检测,也有别于上述对螺纹中部区域缺陷的检测。缺陷 1 位于螺纹开始,传感器刚完全进入螺纹的情况。

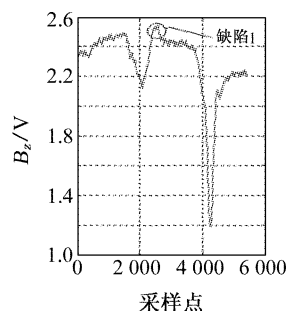
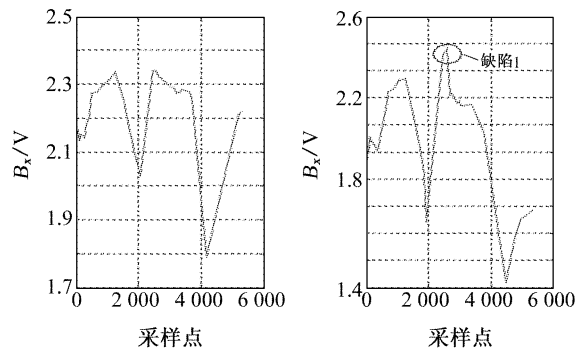


图 3 是缺陷 1 的检测信号。由图可见, B_x 由最

小值开始增加,达到最大值时,由于缺陷 1 的存在,使得该最大值发生了剧烈变化,与相邻的螺纹信号形成的极大值之间形成了很大差别,形成了一个很明显的局部极大值。

如前所述, B_x 的第一个极大值点是在激励线圈的磁芯进入第一条螺纹时获得的,而从最大值减小到最小值的过程,是传感器移动到进入第一条螺纹。图 4 是缺陷 1 检测信号的局部极大值特征图,在双峰值的第一个波峰处,由于缺陷的存在使得该处的 B_x 增加,从而形成了鲜明的缺陷特征。同时对缺陷的检测满足 I 类缺陷的判断依据。



(a) 无缺陷的信号

(b) 有缺陷的信号

图 4 缺陷 1 检测信号提取局部极大值后的结果

(2) 螺纹开始处的缺陷(Ⅱ类缺陷)检测模型

Ⅱ类缺陷由于其位置的特殊性,信号的特点较为明确,当测量传感器到达第一条螺纹处时, B_x 达到极小值,而当传感器完全进入螺纹区域时, B_x 达到双峰值的第一个波峰(对于图 1 所示的结构而言就是第 3 条螺纹处)。该过程信号急剧增加,由于Ⅱ类缺陷的存在,使得 B_x 的增大幅度提高,而形成局部极大值。对于缺陷 2 的检测信号如图 5 所示。

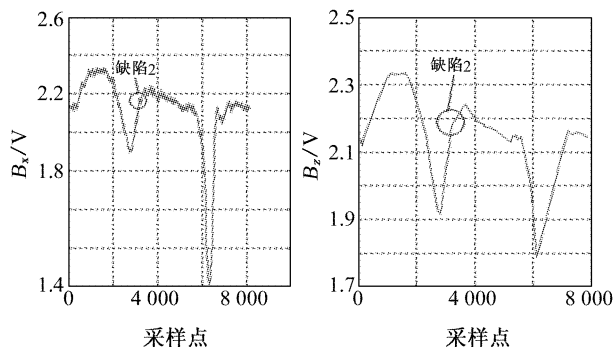


图 5 缺陷 2 的检测信号

图 6 缺陷 2 检测信号提取局部极大值点的结果

由图 5 可以看出, B_x 在由第一个极小值点到第二个极大值点(第 3 条螺纹处)的过程中,由于缺陷的存在使得 B_x 增大,并略大于无缺陷的 B_x 的增大情况,因此,从检测信号中除了可以看出检测过程中的螺纹的个数,同时,也可以从检测信号的改变判断缺陷的存在。

图 6 满足Ⅱ类缺陷的判断依据。该类缺陷的变化相比之下不是很明显,并且检测值受检测速度和其他外因的影响,因此虽然上述判据可以实现该类缺陷的检测,但其可靠性有待提高。

(3) 螺纹结束处的缺陷(Ⅲ类缺陷)检测模型

由于 B_x 在最后一个螺纹处会达到极小值,信号变化较为剧烈,而缺陷的存在会引起信号的增加,因此会出现局部极大值。下面对图 1 中的缺陷 3 进行检测,其检测信号如图 7 所示。

由图 7 可知,由于缺陷处于螺纹区的末尾位置, B_x 在传感器到达最后一个螺纹处达到极小值点,因此该过程是属于 B_x 信号急剧下降的区域。由于缺陷的存在使得 B_x 的测量值增加,因此与无缺陷时的变化相反,在缺陷处会有一个明显的局部极大值,以此说明缺陷的存在。

由图 8 可以看出,该类缺陷的存在减小了 B_x 由最大值下降到最小值的趋势,在缺陷处会引起 B_x 的增加,而与 B_x 总的减小趋势相反,因此该类缺陷

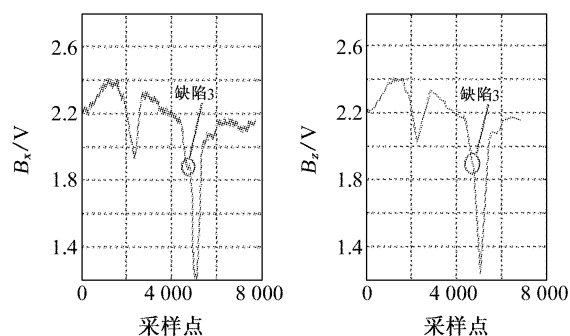


图 7 缺陷 3 检测信号

图 8 缺陷 3 检测信号提取局部极大值后的结果

的特征较为明显,易于检测。上述的结论也满足Ⅲ类缺陷的判断依据。

3 螺栓六角头根部缺陷的检测

对于螺纹结构,特别是承受轴向载荷的螺纹连接结构而言,螺纹结构的头杆结合部的周向裂纹也是最为常见的一种形式,下面以六角头螺栓头杆结合部的裂纹检测为例,讨论该类缺陷的检测。

3.1 传感器与工件的结构关系及信号特点

上述方法是利用磁芯两极之间的磁场对待测工件进行磁化,通过测量螺纹结构外围磁场的变化完成对缺陷的检测,所以磁测量传感器放在磁芯的两极之间,传感器大致结构与文献[9]一致,而对螺栓头杆结合部裂纹的检测,无法将其磁芯的两极固定在缺陷两侧,也就无法实现该类缺陷的检测,因此对文献[9]描述的传感器结构进行了相应的改造。

利用图 9 所示的传感器进行检测时,将磁测量传感器处的两个直角面紧贴待测螺栓头部的垂直面以及螺栓的轴线。由该传感器激励产生的涡流将存在于头部和轴部结合处及相应的两个面,并且轴部的涡流平行于轴线,而螺栓头部的涡流垂直于轴线,并且各部分的涡流在无缺陷的情况下是平行的均匀

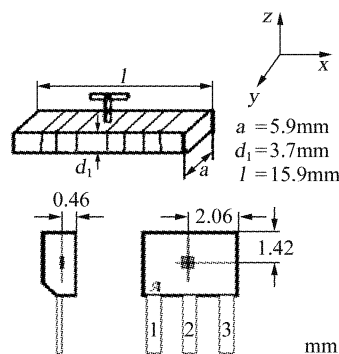


图 9 头杆结合部缺陷检测传感器结构图

分布,测量信号在理想情况下保持在一个恒定的值。当有缺陷存在时,由于局部电阻率的变化会改变涡流的这种匀强分布,轴部的涡流将绕缺陷的两端或底部流过,从而影响外围磁场的分布(在缺陷的两端 B_z 会出现极性相反的两个极值,而在缺陷的中部 B_x 会出现极小值),测量这种磁场的变化就可以实现缺陷的检测。

由上可知,对螺栓头杆结合部缺陷检测的理论基础就是基于场量测量的涡流检测方法,具体的检测原理及信号特点见文献[10],在此不再阐述。

3.2 缺陷检测信号分析

当螺栓头杆结合部没有缺陷时,测量值理论上应保持一个恒定值,但是由于实际加工工艺的问题,工件表面不是平整光滑的,会造成测量信号的不规则变化,另外旋转速度和采集卡采集精度等不确定因素都会造成信号的微弱变化,但不会形成 B_x 和 B_z 的规则变化信号。

图10是 $\phi 10$ mm螺栓在无缺陷情况下的检测信号。可以看出信号呈现了不规则的微小变化。为了对有无缺陷的情况进行区别,以及验证上面分析的信号特点是否正确,对一个面有缺陷的且公称直径为8 mm的六角螺栓进行了检测。

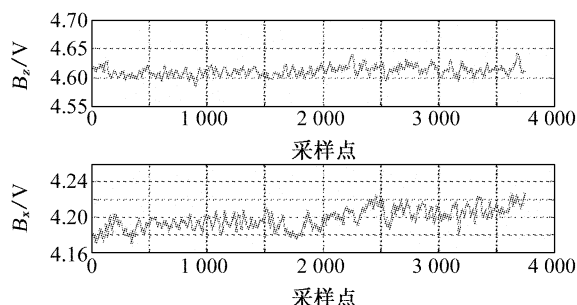


图10 无缺陷情况下的检测结果

图11是螺栓旋转两周,两次经过缺陷区域的检测情况。可以看出,在无缺陷的位置出现了和图10一样的干扰信号,但在缺陷处, B_x 和 B_z 出现了与传感器设计时理论分析一致的信号变化, B_z 形成了对完好场值而言,极性相反的两个峰值,而 B_x 在缺陷中部出现了明显的波谷,缺陷特征较为明显,很容易实现缺陷的检出。

从图11可以大致观测缺陷的位置及信号的大致特点,但为了说明其检测信号与前期研究的涡流检测方法的一致性,将第二次的缺陷信号进行局部放大,得到图12。由图12可知, B_x 在缺陷两端出现了明显的波峰,而在缺陷部分出现了极小值。 B_z

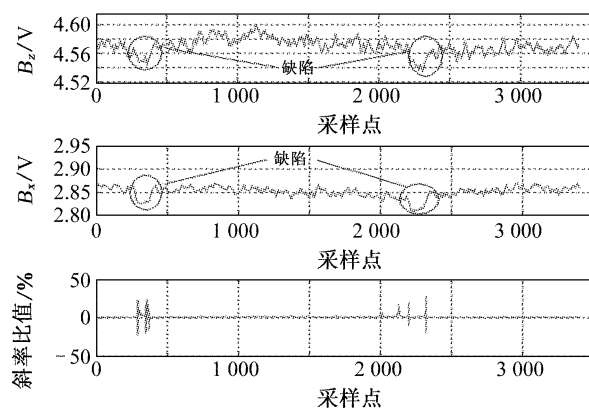


图11 有缺陷情况下的检测结果

在 B_x 的两个波峰内侧出现了两个极值相反的波峰和波谷(相对于完好场的检测值而言),五个特征点的位置也和以前的分析一致,因此采用特征式^[10]也就形成了图11中的叙说斜率比值曲线,可见在无缺陷的位置,斜率比值不会呈现规律性变化,而在缺陷位置该斜率比值会出现四次符号的改变,两次幅值较大,两次幅值较小,且呈相互交替的规律,信号的特点较为明显。由此可知,基于场量测量的涡流检测方法的原理及其检测信号的特点完全适合于利用该传感器对螺栓头杆结合部周向缺陷的检测,只是信号的变化没有前期明显。

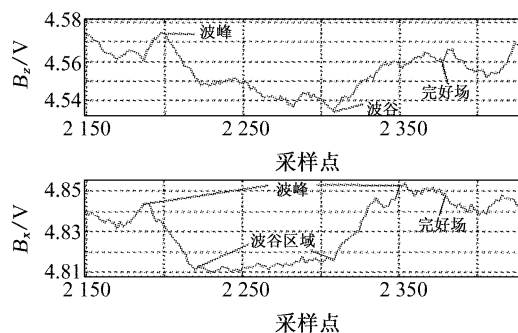


图12 对图11的缺陷信号进行局部放大

4 总结

在对螺纹区域中缺陷检测信号分析^[9]的基础上,将螺纹结构中的缺陷分为三类,除了给出Ⅰ类缺陷的判据外,同时也提出了Ⅱ类和Ⅲ类缺陷的识别模型。模型都是通过提取检测信号的局部极大值,依据信号的变化特点作出缺陷有无的判断。通过对膨胀螺钉中的三类缺陷进行了试验研究,验证了上述判据,证明了识别模型的正确性。

(下转第333页)

对),校正后为 1.52 lp/mm(5 号线对)。图 5 为图 4 的局部放大图,图 4 中矩形区域标准差校正前为 1.556 9,校正后为 0.257 5。图 6 为校正前后同一水平位置的灰度图。与校正前的图像相比,校正后图像的固有噪声得到了抑制,提高了信噪比,图像整体变得比较均匀,图像细节变得比较清晰,图像质量得到了改善。图 7 为线路板射线图像校正前后的效果图。

4 结论

分析了便携式 X 射线成像仪各物理器件对信息转化的过程,建立了每个像元通道对 X 射线的响应模型,从理论上解释了图像非均匀性产生的机理。实验得出像元输出灰度值与管电流呈近似直线关系,对各个像元用多点直线拟合的方法求得非均匀性校正因子。通过校正实际图像,非均匀性得到了有效抑制,图像的均匀性、分辨率和对比度得到了提高。该方法可以用于其他 X 射线成像系统的校正,但仅适用于像元输出值与管电流呈线性关系的 X 射线成像系统。

参考文献:

- [1] 陈树越,路宏年. X 射线数字成像噪声特性及噪声消除方法研究[J]. 无损检测,2001,23(1):9—11.
- [2] Abbas EI Gamal, Boyd A Fowler, Hao Min, et al.

Modeling and estimation of FPN components in CMOS image sensors[C]. Proc SPIE Int Soc Opt Eng,1998,3301,168.

- [3] Joseph D, Collins S. Modeling, calibration and correction of nonlinear illumination-dependent fixed pattern noise in logarithmic CMOS image sensors[J]. Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions, 2002,51(5):996—1001.
- [4] Jose M, Lopez-Alonso, Ruben Gonzalez-Moreno, et al. Noise in imaging systems: fixed pattern noise, electronic, and interference noise[J]. Proc SPIE Int Soc Opt Eng,2004,5468,399.
- [5] Pouliquen P O, Andreou A G, Terrill C W, et al. Learning to compensate for sensor variability at the focal plane[C]. Proc Int Conf Neural Networks (IJCNN), Washington, DC: 1999.
- [6] 高上凯. 医学成像系统[M]. 北京:清华大学出版社,2000,3:24—25.
- [7] Nagarkar V, Guptar T, Klugeman Y. Structured CsI (TI) Scintillator X-ray Imaging Applications[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 1998, 45(3):492—496.
- [8] 美国无损检测学会编,美国无损检测手册译审委员会译. 美国无损检测手册·射线卷[M]. 上海:世界图书出版公司,1992.
- [9] 蔡文贵,李永远,许振华. CCD 技术及应用[M]. 北京:电子工业出版社,1992.

(上接第 329 页)

参考文献:

- [1] 何辅云,何 箭,陈宏道. 钢管内螺纹的检测方法及系统[J]. 无损检测,2004,25(7):343—345,368.
- [2] 臣西民,莫润阳. 钻杆接头螺纹部位疲劳裂纹的超声波检测[J]. 西安石油学院学报(自然科学版),2000,15(5):64—67.
- [3] 郝晨光. 超声波探伤法在高温紧固螺栓上的应用[J]. 东北电力技术,2002(9):29—31.
- [4] 金 斌,楼敏珠. 螺栓裂纹的涡流自动探伤技术和系统[J]. 无损检测,2004,25(11):565—567,588.
- [5] Yuji Gotoh, Norio Takahashi. Proposal of detecting method of plural cracks and their depth by alternating flux leakage testing: 3-D nonlinear eddy current analysis and experiment[J]. IEEE Trans on Magnetics, 2004,40(2):655—658.

- [6] Yuji Gotoh, Norio Takahashi. Study on problems in detecting plural cracks by alternating flux leakage testing: 3-D nonlinear eddy current analysis[J]. IEEE Trans on Magnetics,2003,39(3):15271530—658.
- [7] Yuji Gotoh, Norio Takahashi. 3-D nonlinear eddy-current analysis of alternating magnetic flux leakage testing-analysis of one crack and two cracks[J]. IEEE transactions on magnetics,2002(3):1209—1212.
- [8] Katragadda G, Lord W, Sun Y S, et al. Alternative magnetic flux leakage modalities for pipeline inspection[J]. IEEE Trans on Magnetics, 1996, 32(3):1581—1584.
- [9] 康中尉,罗飞路,郭希玲,等. 交变漏磁检测在螺纹检测中的应用[J]. 无损检测,2007,29(5):268—271.
- [10] 康中尉,罗飞路,胡媛媛,等. 交变磁场测量数学模型及“类匀强场”的建立[J]. 无损检测,2004,26(11):545—551.