

磁记忆检测
专题论坛

用金属磁记忆方法检测应力分布

黄松岭, 李路明, 汪来富, 刘时风
(清华大学 机械工程系, 北京 100084)

摘要: 金属磁记忆检测技术是无损检测领域的一门新兴学科, 简要介绍磁记忆的检测原理, 并采用基于薄膜磁阻元件的一维弱磁测量系统对焊缝工件进行磁记忆检测, 检测结果与盲孔法应力分布检测结果有较好的一致性, 表明磁记忆检测技术可应用于焊缝区应力分布检测。

关键词: 磁性检验; 磁记忆材料; 应力; 漏磁
中图分类号: TG115.28 文献标识码: A 文章编号: 1000-6656(2002)05-0212-03

STRESS DISTRIBUTION TESTING BY METAL MAGNETIC MEMORY METHOD

HUANG Song-ling LI Lu-ming WANG Lai-fu LIU Shi-feng
(Mechanical Engineering Department, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract Metal magnetic memory (MMM) technology is a new NDT method first introduced by Russian researchers. MMM testing principle was presented, and the magnetic flux leakage (MFL) distribution of the specimen with welded seam was tested using the one-dimension weak magnetic signal testing system based on film magnetic resistance device. Experimental data showed that the MFL signal distribution was corresponding to the result of small hole stress measuring method.

Keywords: Magnetic testing; Magnetic memory material; Stress; Magnetic flux leakage

磁记忆检测方法是20世纪90年代后期, 以杜波夫为代表的俄罗斯学者率先提出的一种全新的铁磁性金属材料诊断检测技术, 其原理是基于铁磁性工件在运行时, 受工作载荷和地磁场的共同作用, 在应力和变形集中区域会发生磁致伸缩性质的磁畴组织定向的和不可逆的重新取向^[1]。铁磁材料的自磁化现象和残磁状况同机械应力有直接的联系, 这一特性称为磁机械效应。磁机械效应使得铁磁性金属工件应力作用区表面的磁场增强, 增强后的磁场“记忆”了部件应力集中的位置, 这就是磁记忆效应^[2]。实验研究表明, 铁磁性金属部件表面上的磁场分布与其内部应力有一定的关系^[3~5], 因此可通过检测部件表面的磁场分布情况间接地对部件应力集中位置进行诊断。

工件在焊接过程中比较容易产生残余应力。焊接残余应力的产生原因较为复杂, 而且依据焊接件

形状、材质与焊接方法的不同, 产生的焊接残余应力也不尽相同, 有的甚至相差很大。

焊缝的检测, 无论是自动化焊接中焊缝的监测和焊缝质量评估, 还是焊接结构的应力测量, 都有着重要的意义。由于焊缝的内部组织、应力状态、表面形貌与周围材料有差别, 直接影响周围地磁场的分布。通过检测工件表面的磁场分布, 可以确定焊缝的位置和内部应力状况等。本实验旨在作一些尝试, 从而为焊缝的定位与质量评估提供一种新的方法。

1 实验研究

检测实验装置如图1所示, 其中磁测量系统模块以及磁阻传感器是实验室自行研制的基于磁阻元件的一维弱磁测量系统; 三维扫描工作台可以实现工件的一维直线扫描、二维平面扫描和三维立体扫描, 扫描精度达到1 μ m。

磁阻传感器采用一维磁阻传感器元件, 其灵敏度为32V/V $\cdot$ T, 最小检出量为2.7nT, 参数指标完全满足检测的精度要求。

收稿日期: 2001-12-21
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50001006)

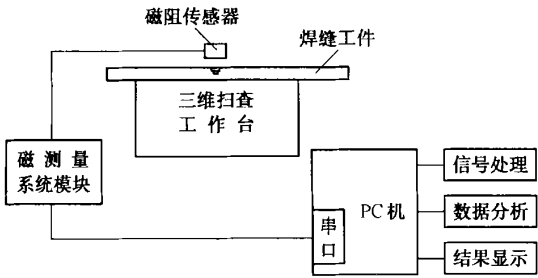


图1 检测实验装置框图

磁测量模块部分主要由传感器驱动电路、信号调理电路、A/D 转换与梳状陷波电路、单片机 CPU 以及串行通讯电路组成。其中采用了一款 16bit 精度、集成了梳状陷波电路的 AD 芯片, 它具有很高的集成度, 在工频 50 和 60Hz 的陷波参数为 120dB, 很好地抑制了工频干扰, 为实现微弱漏磁信号的测量奠定了基础。

磁测量模块将实验数据通过串口传输给 PC 机, 在 PC 机端运用 Matlab 工具软件对实验结果进行二维和三维显示。

在试验过程中, 将传感器与试样分别固定于传感器支架与三维扫查架上, 要保证试样与扫查架间有一定距离, 以防扫查架干扰。试样与传感器保持 2~3cm 的间距, 测量垂直于工件表面的地磁场分量。三维扫查架的扫查方式为逐行扫描, 行方向垂直于焊缝。分别对有两条激光单面焊双面成形焊缝的试验钢板和有一条手工电弧焊焊缝的试验钢板进行检测, 钢板材料均为 20 钢。

激光焊缝试样长 180mm, 宽 120mm, 厚 2mm, 检测时扫描区域为 45mm×45mm, 每行共采集 450 个数据, 沿列方向每次步进 1mm, 共采集了 46 组数据。图 2 是取其中一行数据绘制所得, 图上两个鞍部表明了焊缝的存在。

手工电弧焊焊缝试样的扫描区域为 20mm×

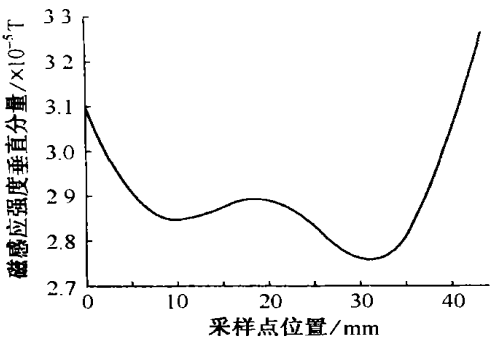


图2 激光焊缝单行扫描曲线

90mm, 每行共采集 900 个数据, 沿列方向每次步进 1mm, 共采集了 20 组数据。图 3 示出了被测试样表面上方 10mm 处各测点磁感应强度垂直分量的幅值分布情况。图中 X 是垂直于焊缝方向, 距焊缝中心位置的距离, Y 是平行于焊缝方向的距离。

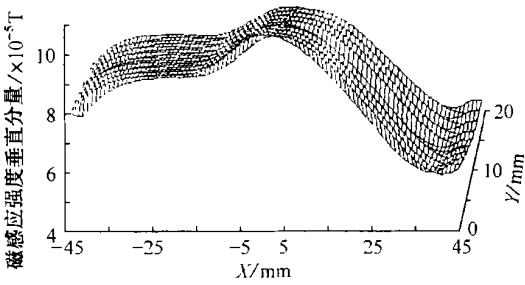


图3 手工电弧焊焊缝试样表面上方 10mm 处磁感应强度垂直分量的空间分布

从图 3 可见, 磁感应强度值基本不受 Y 的影响, 只随 X 的不同而变化。为了更清楚地表现磁感应强度垂直分量随 X 变化的分布情况, 从图 3 中截取了 $X=0 \sim 40\text{mm}$ 的一条曲线并示于图 4。

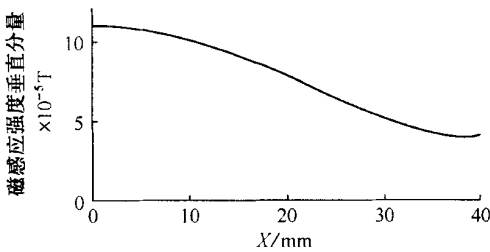


图4 试样表面上方 10mm 处磁感应强度垂直分量的一维分布

为了比较精确地判断试样焊缝附近应力的分布情况, 采用盲孔法测量试样的应力分布, 图 5 是手工电弧焊试样表面垂直于焊缝方向的应力分布结果, 横坐标 X 是距焊缝中心的距离, 纵坐标 σ_y 是试样表面应力在平行于焊缝方向上的分量。比较图 4 和图 5 可以看出应力分布曲线和试样表面磁感应强度垂直分量分布具有较好的一致性。沿着焊缝方向的

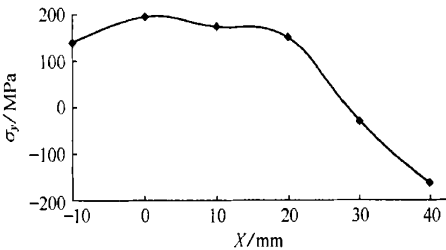


图5 盲孔法测得试样表面的应力分布

拉应力使试样表面磁感应强度垂直分量变大, 压应力使试样表面磁感应强度垂直分量变小。

图6是归一化后焊缝一侧距焊缝0~40mm范围内的磁感应强度垂直分量和 σ_y 应力分布拟合曲线。可见, 它们具有较一致的分布特征, 因而, 可以从磁感应强度值的变化情况得到应力值的分布。

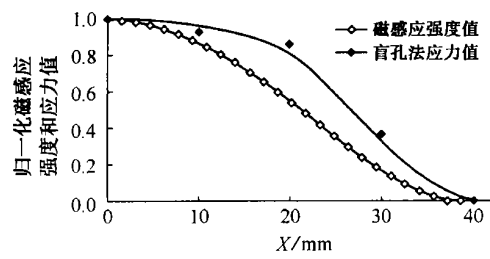


图6 试样应力值和磁感应强度值的归一化结果

2 结束语

从实验结果可以看出, 通过对焊缝试样表面漏磁场分布的测量, 可得到焊缝区的残余应力分布, 其结果与焊缝区盲孔法测得的残余应力分布有较好的一致性, 因而, 磁记忆检测技术应用于焊缝区应力分

布检测是可行的。

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.

[2] Dubov AA. Study of metal properties using metal magnetic memory method[A] . 7th European Conference on Non-destructive Testing[C] . Copenhagen: 1998. 920—927.

[3] Makar JM, Tanner BK. The effect of stresses approaching and exceeding the yield point on the magnetic properties of high strength pearlitic steel[J] . NDT & E International, 1998, 31(2): 117—127.

[4] Ivanov PA, Zhang Z, Yeoh CH, et al. Magnetic flux leakage modeling for mechanical damage in transmission pipelines[J] . IEEE Trans on Mag, 1998, 34(5): 3020—3023.

[5] Masatoshi Kuroda, Shinsuke Yamanaka, Koji Yamada, et al. Evaluation of residual stresses and plastic deformations for iron-based materials by leakage magnetic flux sensors[J/O L] . Journal of Alloys and Compounds, 2001, 314: 232—239.

(上接第 190 页)



图6 镀膜柑橘根腐病毒
(400nm×400nm)



图7 人血丙种球蛋白
(800nm×800nm)

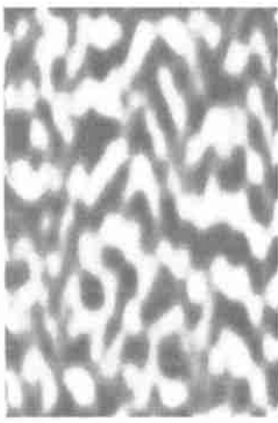


图8 核酸
(20nm×20nm)

参考文献:

[1] Wang C, Li XD, Shang GY. Threshold behavior of nanometer scale fabrication process using scanning tunneling microscopy[J] . J Appl Phys 1997, 81: 1227—1230.

[2] Qiu X, Shang G, Wang C, et al. Use of BEEM to observe the diversity of fabricated nanometer features at the

Au/ Si interfac[A] . Appl Phys A: Mater[C] , 1998. 91—94.

[3] 刘安伟, 吉贵军. 扫描隧道显微镜电压脉冲法加工产生纳米结构的研究[J] . 自然科学进展, 1999, 9(4): 320—324.

[4] 白春礼. 扫描隧道显微术及其应用[M] . 上海: 上海科技出版社, 1992.