

高性能涡流检测传感器的研制

袁改焕,李恒羽¹⁾,白新德,魏惠元¹⁾

(清华大学,北京 100084)

摘要:传感器是涡流检测设备的关键器件。在分析了涡流检测原理和影响检测可靠性的几个主要因素的基础上,确定了新型传感器设计和制作的要求及方法;并介绍了自制及原装(进口)传感器与德国进口 STATOGRAPH ECM 2.841 涡流检测仪联机后,对结合合金管材人工缺陷标样、管材几何尺寸变化较大的试件测试结果。结果表明,自制的涡流传感器性能水平已达到进口仪器原配传感器的测试效果,具有抗干扰性能强、灵敏度高、实用效果好以及性价比高的特点。

关键词:涡流检测;传感器;结合合金管材

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2006)09-0453-03

Development of High Performance Eddy Current Testing Transducer

YUAN Gai-huan, LI Heng-yu¹⁾, BAI Xin-de, WEI Hui-yuan¹⁾

(Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Transducer is the key device of eddy current testing equipment. Based on the principle of eddy current testing, the chief factors which affect the reliability of testing were analyzed, the method and requirements for the new type transducer's designing and manufacturing were determined. After connected with the type of STATOGRAPH ECM 2.841 eddy current testing instrument made in Germany, the test on the zirconium alloy tube with standard artificial defects and on the zirconium alloy tube with dimensions variation by the original transducer and the ones made by ourselves have been made respectively. The results show that the transducers made by ourselves can reach the effectivity of the original transducer and retain superiorities of high anti-interference, high sensitivity, good practice effectivity and high property to price ratio.

Keywords: Eddy current testing; Transducer; Zirconium alloy tube

采用外穿式涡流检测法进行管棒材检测,具有检测速度快、容易实现自动化的优点。但对不同规格的管棒材进行检测时,需要配制相应尺寸的传感器。西北锆管有限责任公司生产的是核用锆合金管棒材,为了保证产品的质量,提高涡流检测可靠性,开展了适于公司现有进口仪器的高性能涡流检测传感器的研制工作。

1 传感器的设计与制作

1.1 理论分析^[1]

涡流检测是以电磁感应原理为基础的。在利用

外穿式线圈进行管材涡流检测时,一般影响检测线圈信号的主要因素有缺陷、电导率、内径、壁厚、检测频率和填充系数。影响检测可靠性的干扰因素主要有管材的物理性能、几何尺寸变化、管材不直度和机械振动,以及现场的电网波动、空间的电磁干扰等。要可靠地进行管材检测,除合理地选择激励频率进行信号分析处理,采取有效措施抑制干扰因素外,还必须提高涡流检测线圈对缺陷因素的灵敏度。因此,保证检测灵敏度和可靠性是设计和制作高性能涡流检测线圈的关键所在。

1.2 性能要求

用于涡流检测的传感器主要有两个功能。一是激励功能,建立一个能在试件中感生出涡流的交变磁场;二是测量功能,测量出带有试件质量信息的涡

收稿日期:2005-07-18

作者简介:袁改焕(1965~),男,总经理,高级工程师。

1) 西北锆管有限责任公司,陕西宝鸡 721014

流磁场及其变化。

根据核用锆合金管材涡流检测灵敏度要求,和公司现有涡流仪器等特定条件,所研制的传感器应有以下特点和要求:

(1) 传感器能与进口涡流仪器 STATOGRAPH ECM2.841 的阻抗相匹配。

(2) 试件在无缺陷时,测量线圈输出电压(即零电势)应 ≤ 20 mV。

(3) 在 100 kHz 的激励频率和 12 m/min 检测速度的条件下,对 $\phi 10$ mm $\times 0.7$ mm 锆合金管材上制作的 $\phi 0.30$ mm 径向通孔人工缺陷检测信噪比 $S/N \geq 3$ (即 ≥ 10 dB)。

(4) 线性度好,可识别和分辨 $\phi 0.40$, $\phi 0.35$, $\phi 0.30$ 和 $\phi 0.25$ mm 的单壁通孔信号。

(5) 对管材几何尺寸微小变化及运动中管材抖动干扰信号有较好的抑制效果。

1.3 人工缺陷标样准备

为了测试自制和原装传感器性能(灵敏度、同心度和线性度),在 $\phi 10$ mm $\times 0.7$ mm 锆合金管材上制作了两种类型人工缺陷标样。1号标样加工有三个 $\phi 0.30$ mm 通孔、周向按 120° 分布,轴向孔距均为 200 mm;2号标样加工有 $\phi 0.40$, $\phi 0.35$, $\phi 0.30$, $\phi 0.25$ 和 $\phi 0.20$ mm 五个通孔,轴向间距均为 200 mm。

1.4 传感器的制作工艺

车制线圈骨架 \rightarrow 绕线 \rightarrow 零电势调整 \rightarrow 灵敏度校准 \rightarrow 封装 \rightarrow 联机试验。

1.5 制作中的技术措施

(1) 线圈结构的选择 为了提高检测灵敏度及抑制几何尺寸变化干扰信号的能力,选用了一种新型的自比差动穿过线圈,即在常规差动绕组线圈上又增加了两个差动线圈。

(2) 电磁干扰屏蔽 为了抑制空间电磁干扰及静电干扰,在激励与测量线圈之间加有铜金属屏蔽层,并引线接地。

(3) 通过对不同线圈尺寸(槽宽和跨距)及绕组参数(线径和匝数等)与人工缺陷标样测试灵敏度、信噪比关系的试验结果分析,选取最佳组合参数。

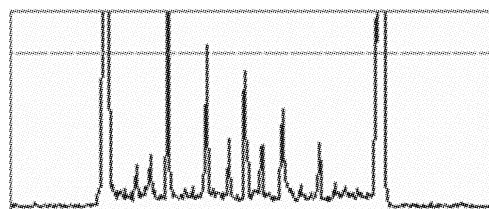
制作的线圈采用商品线圈的标准接插件,以便于更换线圈传感器。

2 试验方法及结果

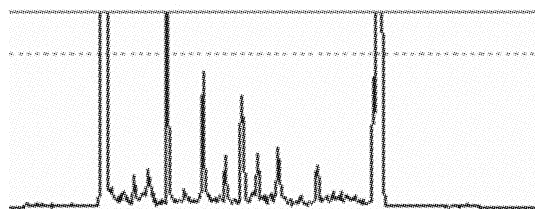
2.1 人工缺陷标样测试

在 12 m/min 检测速度、100 kHz 激励频率的检

测条件下,对前述 1 号和 2 号不同人工缺陷标样管用自制传感器和原装传感器分别进行了测试和结果对比。图 1 即为进口和自制传感器对 2 号人工缺陷标样管的测试波形图。



(a) 进口传感器



(b) 自制传感器

图 1 进口和自制传感器对 2 号样管测试波形图

由图 1 可见自制的传感器可与进口涡流仪良好匹配,其性能水平达到了进口传感器对标样管现场测试效果,可满足核用锆合金管材涡流检测的要求;同时线圈骨架内孔直径尺寸较进口传感器大(进口传感器为 $\phi 10.75$ mm,而自制的为 $\phi 11$ mm),可避免管材表面擦伤,提高传感器使用寿命。

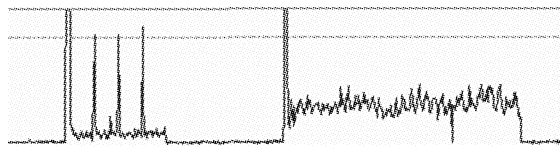
2.2 抑制几何尺寸变化干扰噪声效果测试

为了检验进口以及自制传感器对锆合金管材几何尺寸变化引起的非缺陷干扰噪声的抑制效果,对两支表面手感有波浪的 $\phi 10$ mm $\times 0.7$ mm 锆合金管试样进行了几何尺寸变化干扰噪声的抑制效果对比试验(图 2)。

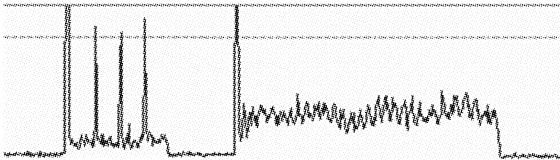
由图 2 对比可知,自制的多差动检测线圈传感器同原装进口传感器相比较,在填充系数较小的情况下,对同支几何尺寸偏差较大的管材测试结果接近,具有相同的抑制效果,但常规结构的差动传感器其抑制几何尺寸变化的效果要差一些。

3 自制传感器的实际应用

图 3 是用自制的 30 kHz 涡流传感器,对核用 $\phi 8.75$ mm 银铟镉棒材人工缺陷(有两个人工缺陷,其中 $\phi 1.6$ mm $\times 2.1$ mm 平底孔一个,4 mm $\times 0.5$ mm $\times 0.4$ mm 横向平底槽一个)标样及试样检



(a) 自制传感器



(b) 进口传感器

图2 自制与进口传感器对2号表面波浪管测试波形图

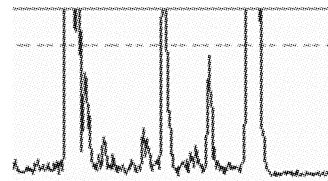
验波形图。测试结果表明,自制探头可满足核用银钢棒材检测要求,实用效果良好。

4 结论

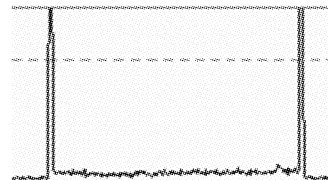
试验对比结果表明:

(1) 涡流检测传感器设计中,影响抗干扰噪声效果的主要因素是线圈结构型式,自制的自比多差动测量绕组检测线圈比常规自比差动线圈抑制几何尺寸变化引起的干扰噪声效果要好,该技术可使此类噪声幅度降低45%左右,可提高检测可靠性。

(2) 自制的自比多差动线圈传感器可与进口涡



(a) 人工缺陷标样



(b) $\phi 8.75$ mm 银钢棒材成品

图3 自制传感器在 $\phi 8.75$ mm 银钢棒材涡流检测中的应用实例

流仪良好匹配,其性能指标达到了进口传感器的测试水平,可满足特殊用途精密管材涡流检测技术条件。具有灵敏度高、抗干扰能力强、性价比高、实用效果好及使用寿命长的特点。

参考文献:

[1] 李家伟,陈积懋. 无损检测手册[M]. 北京:机械工业出版社,2002.



欢迎订阅 2007 年《中国特种设备安全》杂志

《中国特种设备安全》(原《中国锅炉压力容器安全》)杂志创刊于1985年。该杂志是由国家质量监督检验检疫总局主管,中国特种设备检测研究中心、中国锅炉压力容器检验协会和中国锅炉水处理协会联合主办,中国锅炉压力容器安全杂志社编辑出版发行。

《中国特种设备安全》是一份报道我国锅炉压力容器安全、压力管道、电梯、起重机械及其它特种设备政策、法规、标准以及最新进展的综合性的集技术、管理及广告为一体的专业性刊物。

栏目设置有政策导向、监察与管理、专论与综述、安全技术、法规园地、事故分析、标准评介、进出口检验、国外资讯、水处理、无损检测、运行管理、鉴戒篇、信息与动态和知识长廊等。

读者对象为从事锅炉、压力容器、压力管道、电梯、起重机械及其它特种设备行业的科研、设计、制

造、安装和管理人员,使用、维修、检验、产品销售和科技人员,工程院校的教学和管理人员以及中高级技术工人。

欲订阅者可向中国锅炉压力容器安全杂志社发行部索取订单,或登录杂志网站(网址:www.csei.org.cn→杂志网络版),或通过邮局订购。

邮发代号 82-411,月刊,大16开,每册定价8.00元,全年12期,共96.00元。刊号CN 11-5345/TK ISSN 1673-257X。

开户银行:交通银行北京和平里支行;户名:中国锅炉压力容器安全杂志社;帐号:110060224018000887646;邮编:100013;地址:北京市朝阳区和平街西苑2号楼;联系人:袁龙妹;发行部电话:(010)84279798;传真:(010)84273124;电子信箱:zzsh@csei.org.cn;网址:www.csei.org.cn→杂志网络版。