

超声 C 扫描成像自动检测系统的研究与实现

于波¹, 段剑¹, 王浩全²

(1. 山东非金属材料研究所, 济南 250031; 2. 中北大学, 太原 030051)

摘要: 超声 C 扫描成像已逐渐成为复合材料构件普遍研究和采用的检测技术之一。在对超声波声场探讨的基础上, 采用基于超声时域的检测方法, 通过机械装置、控制电路、发射电路、接收电路和信号处理电路等部分的设计, 研制了一种速度快、功能强的超声波 C 扫描自动检测系统。该系统具有成本低廉、检测速度快、误检率低和显示直观等优点。经对布纤维复合材料试验表明, 该系统能够检测出直径为 $\phi 1$ mm 的气孔, 能够实现对微小缺陷的成像检测。

关键词: 超声波检测; C 扫描成像; 系统研发

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2011)02-0059-03

Research on Ultrasonic C-Scan Imaging Automatic Testing System

YU BO¹, DUAN Jian¹, WANG Hao-Quan²

(1. Shandong Institute of Non-metallic Material, Jinan 250031, China; 2. North University of China, Jaiyuan 030051, China)

Abstract: Ultrasonic C-scan imaging is an adopted method in composite materials. According to the principle of ultrasonic testing and characteristic of acoustic field, the display in depth is studied. A system of C-scan ultrasonic automatic testing is designed. It includes host computer, singlechip, ultrasonic emission circuit, incept circuit, signal processing and so on. It has high speed, low costs and accurate testing. The expirment results show that the method can detect a stoma of $\phi 1$ mm diameter in composite materials. It can realize testing flaws in materials.

Keywords: Ultrasonic testing; C-scan imaging; System design

超声成像无损检测是自动控制、数字信号处理等多种技术相融合的典型应用。它利用传感器技术, 通过计算机控制检测设备, 进行自动检测, 最后利用软件实现缺陷图像的实时显示与处理^[1]。是实现缺陷定位、定量和定性, 以及无损评价的关键技术之一。

1 C 扫描成像原理

超声 C 扫描是一种沿垂直于声束横断面的二维扫描方式, 显示被测试样的横断面状况。C 扫描可以通过数控扫描系统, 运用插补原理实现各种轨迹的扫描。在自动检测中, 通常采用水浸聚焦探头进行水浸扫描。C 扫描在新型复合材料、电器开关

触头和集成电路等检测中显示出了一定的优越性^[1-2]。

在 C 扫描检测中, 需要在记录某一点缺陷有无的同时记录这一点的坐标。进行检测时, 换能器在步进电机或人工带动下进行迂回运动, 每行进一步, 发射/接收超声信号一次。电脉冲激励的超声脉冲通过耦合剂进入试件, 如试件中无缺陷, 它可一直传播到试件的底面。如果底面光滑且平行于探测面, 按照反射原理, 超声脉冲被底面反射而返回换能器, 换能器将返回的声脉冲转变为电脉冲, 经 A/D 转换传入计算机。将每一点所提取到的超声回波信号特征量以彩色或灰度的形式表现出来, 于是便得到 C 扫描图像^[3-4]。

2 成像系统的总体设计

整个检测系统由主机部分、组合探头装置、机械装置、从机部分、超声波发射接收电路和信号采集等

收稿日期: 2010-03-31

作者简介: 于波(1971—), 男, 工程师, 从事复合材料无损检测研究和检测工作。

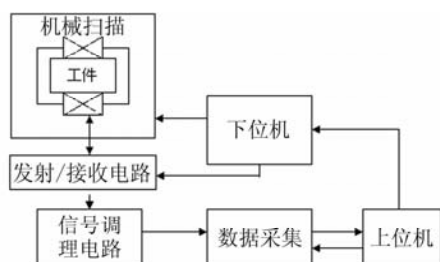


图1 检测系统框图

部分组成(图1)。

下位机通过程序控制步进电机、超声发射/接收电路,按照预先设计的方式对被测工件进行超声扫描。超声回波信号经信号调制电路处理,由数据采集系统采集输入上位机(计算机),对信号进行处理。检测完成后,显示检测结果并打印。

3 超声波发射接收电路

发射电路主要由 DC-DC 电源模块、窄脉冲发生电路和激励电路所组成。DC-DC 电源模块用来完成 10~400 V 的转换,窄脉冲发生电路的任务是将下位机发送来的触发信号转换成窄脉冲信号,此窄脉冲信号由激励电路激励探头产生。

超声发射电路一般要求有较高的发射电压(100~1 000 V),这样可以使得电容的充电电压较高,保证充足的发射能量来激励压电晶片。利用场效应管或可控硅的导通与截止时,电源电压通过电阻向电容充电、放电,产生一短脉冲,激励晶片发射超声脉冲。发射频率主要由晶片的固有频率决定。

接收电路的主要作用是将接收的超声波加以放大、衰减和滤波,以利于后续部分对信号的处理和显示,主要包括放大器、带通滤波器等,起关键作用的部分是放大器。

笔者采用 Γ 型网络和 Π 型网络混合使用的办法来实现衰减的调节。衰减调节分为粗、中、细三级衰减,粗调每档为 20 dB,中调每档为 2 dB,细调每档为 0.5 dB。这样可以充分调整回波信号的大小,便于进行 A/D 转换。

4 下位机部分

从机部分以单片机为核心,能够完成超声波的发射、电机的控制和串口通信等功能。

在探头拖动装置中含有 A、B 两个电机,分别控制探头的横纵向移动。在单片机的控制下,探头以蛇形的方式行进,每行进一下,触发发射电路发射超

声。当探头盒行进到一定范围时,光电传感器会向单片机发出中断信号,B 电机行进一步后,A 电机开始反向行进。

步进电机控制部分主要完成判断旋转方向、按顺序送出控制脉冲以及判断脉冲是否送完功能。步进电机采用三相六拍通电方式。步进电机所要走的步数存在 R4 中,转向标志存放在程序状态寄存器用户标志位 F0(D5H)。当 F0=0 时,步进电机正转;当 F0=1 时,步进电机反转。

下位机 AT89C52 单片机有一个全双工的串行通讯口,可以与主机之间方便地进行串口通信。采用 MAX232 进行转换,不但简单而且可靠。

5 上位机部分

主机采用高档工业控制计算机,可以完成人机交互、串行通信、数据采集、信号处理、结果显示以及打印功能。

在软件的设计中,为了增强系统的稳定性、可靠性和易操作性,特为用户提供了良好的人机界面。系统基于 Microsoft Windows XP 操作系统,采用 VC6.0 编写完成,主要功能有检测参数设置、数据显示和历史记录查询等。整个界面简单、方便、实用、美观。

由于全波信号比检波信号包含有更丰富的材料结构信息,为了实现信号特征量质量的提高和特征空间维数的降低,对检测信号的全波进行了采集处理。数据采集卡采用基于 PCI 总线的八位 A/D 卡,最大采样频率 30 MHz,能够实现对检测信号的无失真采集。

采用信噪分离、时域或变换域的分析方法,通过对检测信号处理和特征提取,提炼出了最能反映材料特性的信息,用来表征被检物体内部的质量情况^[4]。

虽然在信号采集过程时,硬件电路中使用了带通滤波器,对于噪声的消除有一定的作用,但是这种方法对放大器频带内的噪声不起作用,为此,通常采用信号处理的方法来消除信号中的噪声。降低噪声、增强信号的方法有很多,如中值滤波、Wigner 分布、信号列谱处理、人工神经网络滤波、小波分析和高阶谱降噪等。

在超声检测过程中,判别疵病的主要信息源是回波信号,回波信号携带了疵病的特征信息。针对材料中含有不同性质、不同尺寸缺陷的情况,可以选

用时域信号的均值、峰值、方差、上升时间、下降时间和能量等进行考察。试验表明,不同性质、不同形状及尺寸的缺陷所产生的回波信号,在能量、峰值和波形持续时间(上升时间与下降时间之和)上有所变化,但有时并不明显。通过 Fourier 变换将信号映射到频域内来提取特征量,经过对幅值谱、相位谱和功率谱等的考察,发现变化明显的特征量,以此进行成像缺陷判别^[4]。

主要功能有测量参数设置、传感器拟合标定、数据采集读取及保存,报表生成及历史记录查询等功能。

软件完成了数据的读取和处理,得到试验的最终结果。它将试验结果通过计算机和打印机等设备呈现出来,更利于试验者对试验结果做出判断。此部分要实现的功能有:报表显示检测数据;自动建立检测结果数据库;提供对检测结果数据的搜索、查询和统计等功能;报表、曲线的打印功能。

数据分析处理软件的参数设置包括测量人员、时间日期、路段区域和磨损超限值,设置完毕后开始读取数据采集,采集回来的数据应该是在 0~5 V 之间,若不在 0~5 V 之间的数据就应该剔除不用,显示磨损量的数值。读取结束后对采集的数据进行处理,存储采集数据,可显示打印本次测量的结果报表,可查询这段钢轨的检测、磨损状况以及使用寿命等。

在数据采集过程中,由于操作不当或外界干扰,或仪器的临时故障等原因,有时会出现异常数据,即所谓异点。异点的存在会影响分析结果,必须加以剔除。

在软件的设计中,为了增强系统的稳定性、可靠性和易操作性,特为用户提供了良好的人机界面。利用虚拟仪器技术开发此系统,不仅可以很方便地实现复杂的数据处理功能,而且用户界面具有美观、交互性和个性化等特点;其模块化的设计,大大方便了程序的修改和维护^[4]。

6 试验结果与分析

试验样品为布纤复合材料,其厚度为 40 mm;缺陷直径为 $\phi 1$ mm 的横孔,距离水与试样界面 10 mm;检测方式采用脉冲式反射法;采用点聚焦探头(2.5 MHz),其焦距为 20 mm 焦点直径 1 mm,焦柱长度 3 mm。图 2 为采用自行研制的 C 扫描成像系统对玻纤材料检测得到的结果。图中左边为缺陷处,所得图形与实际情况相符,以此可以判断缺陷的大小和位置。

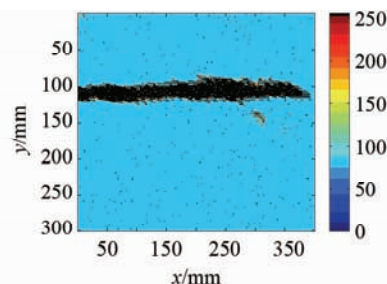


图 2 C 扫描图像

7 结论

通过精密扫描获得的扫描图像,可以较好地分析和了解材料中缺陷分布和密度情况。该技术具有较小的缺陷检测能力,不仅能够在厚度较薄的材料中检测出直径为 $\phi 1$ mm 的气孔,而且对夹渣也能够较为准确地检测。

参考文献:

- [1] 西拉德 J, 主编. 超声检测新技术[M]. 陈积懋, 余南廷, 译. 北京: 科学出版社, 1991: 471.
- [2] 陈以方, 骆巍, 陈玉宝, 等. 复合材料的特征扫描成像检测[J]. 无损检测, 2001, 23(10): 427—431.
- [3] 刘松平, 郭恩明, 张谦琳, 等. 复合材料深度方向 C 扫描检测技术[J]. 无损检测, 2001, 23(1): 13—15.
- [4] 王浩全, 曾光宇, 韩焱. 玻纤复合材料超声 C 扫描检测研究[J]. 兵工学报, 2005, 26(4): 570—572.

(上接第 30 页)

- [7] 陶忠, 庄金平, 于清. FRP 约束钢管混凝土轴压构件力学性能研究. 工业建筑, 2005, 35(9): 20—23.
- [8] 王庆利, 张永丹, 谢广鹏, 等. 圆截面 CFRP-钢管混凝土柱的偏压实验[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2005, 21(5): 425—428.
- [9] 王庆利, 姜桂兰, 高轶夫. CFRP 增强圆钢管混凝土受

弯构件试验[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2006, 22(2): 224—227.

- [10] 袁振明, 马羽宽, 何泽云. 声发射技术及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1984.
- [11] 叶茂. 方截面 CFRP-钢管混凝土受弯性能研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学土木工程学院, 2009.