

新型焊接质量的无损检测技术

杨杰¹, 李路可², 沈华刚²

(1.华北水利水电大学, 郑州 450011; 2.郑州科技学院, 郑州 450064)

摘要: 焊接是工业生产过程中机械零部件连接的一种常用方法, 近些年来对焊接质量的要求日渐提高, 而无损检测技术的出现使焊接件的质量得到了有效可靠的保证, 该技术不会破坏焊接件的使用性能, 利用该技术可以对焊接缺陷进行评定检测, 从而对焊接质量进行有效控制。近年来, 无损检测技术日渐多样化, 对较新型的超声波衍射时差法(TOFD)、发射检测(AE)、脉冲涡流检测、超声相控阵检测(PAUT)等焊接无损检测技术做了研究和探讨, 可为实践应用提供依据。

关键词: 焊接缺陷; 无损检测; 脉冲涡流

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2017.03.022

中图分类号: TG115.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2017)03-0111-04

New Nondestructive Testing Technology of Welding Quality

YANG Jie¹, LI Lu-ke², SHEN Hua-gang²

(1.North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China;

2.Zhengzhou University of Science & Technology, Zhengzhou 450064, China)

ABSTRACT: Welding is a commonly used method for connecting machinery parts in industrial processes. In recent years, the demand for welding quality increases, while the emergence of non-destructive testing technology guarantees quality of welding parts reliably. This technique can detect and assess welding defects without affecting the using performance of welding parts, so that the welding quality can be controlled effectively. In recent years, the non-destructive testing technologies are diversified. The newer welding nondestructive testing technologies such as TOFD, AE, pulsed eddy current testing, PAUT and so on are researched and discussed in the paper, which can provide a basis for practical application.

KEY WORDS: weld defects; nondestructive testing; pulsed eddy current

焊接技术是在加温、加压, 或两者并用的条件下, 利用原子/分子间结合, 使焊接材料(焊条或焊丝)与2块或2块以上的母材(待焊接的工件), 连接成一体的操作方法, 在制造领域中广泛应用。焊接质量的优劣直接关系到设备和人身的安全, 因此必须重视对焊接产品的质量检测, 其中无损检测是检测焊接缺陷的一种先进方法。

1 常见的焊接缺陷

焊接缺陷可分为外部缺陷、内部缺陷和微观缺陷。常见的外部缺陷有咬边、焊瘤、凹陷及焊接变形、表面气孔、表面裂纹、烧穿等; 内部缺陷有焊接裂纹、气孔、夹渣、未焊透、未熔合、夹钨等; 微观缺陷常

收稿日期: 2017-03-12

基金项目: 河南省科技厅自然科学基金(152102210174)

通讯作者: 李路可(1987—), 女, 硕士, 主要研究方向为工程材料与模具等。

见的有过烧、过热、组织成分不均匀等。

2 无损检测技术的应用

利用无损检测技术可以准确方便地检测到材料/零件内部或外部的微观缺陷,相对于有损检测,无损检测采用了先进的技术和设备器材,能够在保证机械结构完整性和使用功能的前提下,简单可靠地完成对试件内部及表面结构、性质、状态的检查和测试过程,近年来,成为了压力管道、锅炉等设备缺陷检测的有效方法。常用焊缝无损检测的方法有射线探伤(RT)、超声波探伤(UT)、磁粉探伤(MT)、渗透探伤(PT)、涡流探伤(ET)等,随着科学技术的发展,近年来又涌现出一批新的无损检测技术。

2.1 超声波衍射时差法

超声波衍射时差法(TOFD)是一种从待检试件内部结构(主要是指缺陷)的“端角”和“端点”处得到衍射能量来检测缺陷的方法,用于缺陷检测、定位和定量^[1]。对焊接缺陷大小的测定,常规超声技术是利用脉冲回波幅度实现的,而 TOFD 则利用脉冲传播时间来定量测定。该技术已用在超高压管道焊接检查上^[2]。基本原理见图 1,基本结构中有一收一发双探头,相对焊缝对称分布。

直通波(LW)是在平直工件的表面以下,沿 2 个探头之间最短路径以纵波速度进行传播,最先到达的波

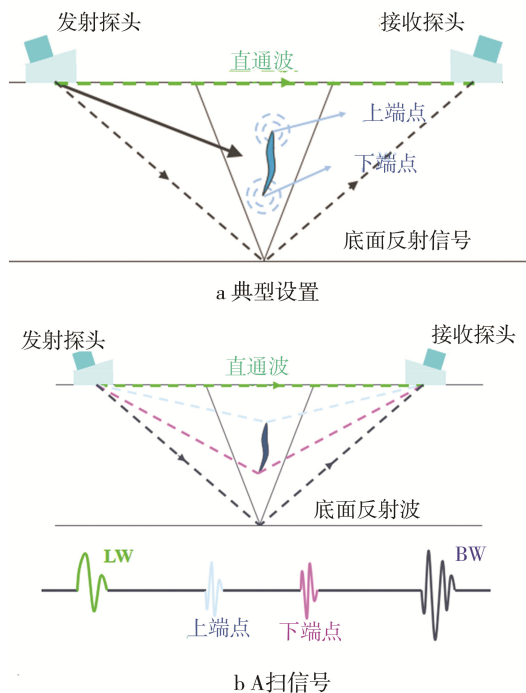


图 1 TOFD 基本原理

Fig.1 Basic principle chart of TOFD

是只在 TOFD 检测时出现特有信号。缺陷信号是由缺陷上、下端点产生的衍射信号,强度低于底面反射波信号,两端点相位相反,其下端点的相位与直通波相同。底面反射波(BW)的波幅比缺陷衍射波高一些,是纵波在底面的反射波。相位与直通波相反,其传播距离比直通波大,总是位于直通波之后。可见近表面存在盲区。检测图像见图 2,根据几何关系,可得到缺陷的自身高度,该方法对缺陷垂直方向的定量和定位非常准确,精度误差小于 1 mm,和脉冲反射法相结合时效果更好,能够覆盖整个焊缝区域,检测速度非常高^[3]。

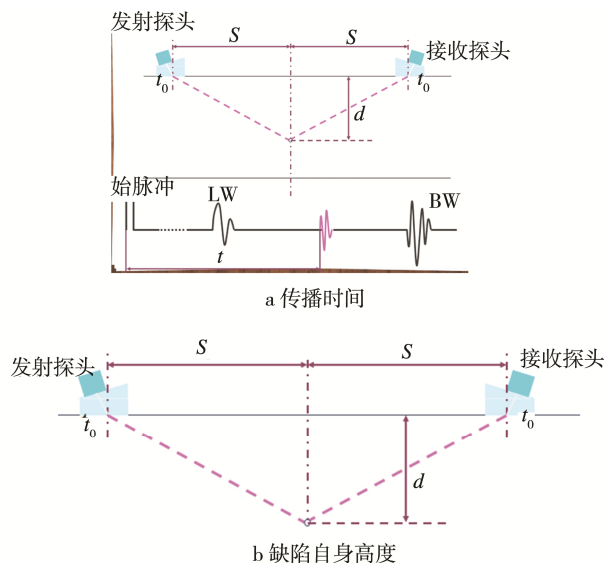


图 2 检测图像

Fig.2 Testing image

由图 2 及式(1)—(2)的几何关系,得到的缺陷自身高度见式(3)。

$$t = \frac{2\sqrt{(S^2 + d^2)}}{c} + 2t_0 \quad (1)$$

$$d = \sqrt{\left(\frac{c(t - 2t_0)}{2}\right)^2 - S^2} \quad (2)$$

$$h = d_2 - d_1 \quad (3)$$

2.2 发射检测

发射检测(AE)是一种新型的动态无损检测技术,是通过探测受力时材料内部发出的应力波,判断容器内部结构损伤程度的一种无损检测技术^[4],能够实现连续监视容器内部缺陷发展的全过程。对压力容器焊缝缺陷如未焊透、夹渣、气孔等采用的是定位源检测,这是区别于其他无损检测技术的一种动态检测技术,通过灵活布置传感器的多通道声发射检测装置,可以对缺陷作精确定位、定量以及定性分析,这样对大型结构如球罐等的检测较为方便。现代声发射仪除了能

进行声发射参数实时测量和声发射源定位外,还可直接进行声发射波形的观察、显示、记录和频谱分析^[5],根据缺陷所处的应力状态和位置变化引起的声发射特征的变化,可以长期连续地监视缺陷的安全性,因此在焊接过程控制中,可以通过对金属冷却产生的声发射信号的实时监测来有效控制焊接质量。由于发射技术具有许多独特的优点,近年来对该技术的研究和应用越来越多。

2.3 脉冲涡流检测

脉冲涡流检测是在不拆除覆盖层的情况下,由于腐蚀、冲蚀或机械损伤造成的均匀壁厚减薄,对承压设备用碳钢、低合金钢等铁磁性材料进行检测的方法^[6],是一种较新型的无损探伤技术。脉冲涡流的激励电流是具有一定占空比的方波,其检测参数较多,可同时检测出焊缝与堆焊层表面或近表面缺陷的距离和厚度。克服了传统的涡流探伤,以正弦电流作为激励,参数控制相对困难,无法兼顾检测深度和灵敏度不足的问题,该技术对金属厚度和缺陷的检测有很重要的实用价值。

通常情况下,激励信号的频率越高,则涡流越趋于被检测件的表面分布,对表面微小缺陷的检测能力越高,但随着透入深度的增大,高频涡流会急剧衰减,所以对于近表面缺陷的检测能力不高;与此相反,激励信号频率越低,则涡流在被检测件表面下的透入深度越大,对被检测件近表面一定深度范围内的缺陷能发生响应^[7-8],但激励信号频率较低的话,表面缺陷检测的灵敏度随之明显下降。脉冲涡流频谱是以低频涡流成分为主,因此难以克服低频涡流检测技术的一些局限性:① 激励线圈尺寸较大,不利于形状较小且较为复杂的机械零件上的缺陷检测;② 对表面微小缺陷的检测能力偏低。脉冲涡流检测系统见图3。

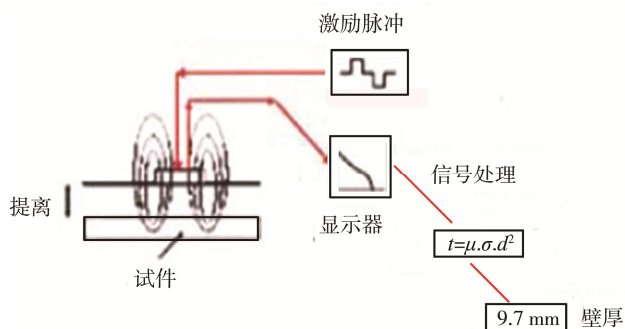


图3 脉冲涡流检测系统

Fig.3 Schematic diagram of pulsed eddy current testing system

2.4 超声相控阵检测技术

相对于常规自动超声检测系统,不同壁厚、不同材质管道焊缝的检测可以通过超声相控阵检测技术

(PAUT), 利用一个探头来实现, 避免了多探头使用范围有限, 不易调整的缺点^[9]。PAUT 利用电子技术, 控制换能器中各个阵元的发射延时, 是实现超声束在材料中偏转、聚焦的动态控制的一种无损检测技术, 因此该技术具有声束角度可控和可动态聚焦的优势^[10]。

用相控阵探头对焊缝作横波斜探伤时, 焊缝斜探伤见图4, 利用装有阵列探头的机械扫查器能沿着精确定位的轨道滑动, 完成焊缝长度方向的全体扫查, 可以达到很高的速度, 避免了普通单探头在焊缝两侧频繁来回前后移动的低效率探伤^[11-12]。



图4 焊缝斜探伤

Fig.4 Weld oblique flaw detection

超声相控阵检测技术在海洋平台结构环焊缝检测中也有独特的优势, 对海洋平台结构特殊构件环焊缝检测时, 采用超声相控阵探头控制电子扫描, 沿管子周向做机械扫查, 超声相控阵探伤时将脉冲反射法和 TOFD 这 2 种方法结合在一起使用, 检测速度快、效率高, 能形成直观可视的探伤^[13], 而传统超声检测技术在这方面有一定的局限性。

2.5 X 射线数字成像检测

X 射线数字成像检测(DR)技术中, 利用平板探测器代替胶片, 形成数字图像的一种自动检测方法^[14-15]。与普通 RT 胶片相比, 不必更换胶片, 只需几秒钟的数据采集, 就可观察到图像, 检测速度和效率大大提高, 其图像质量已达到胶片照相水平。

3 结语

无损检测技术对焊接产品的缺陷检测有重要意义, 目前越来越多的科学家和工程技术人员致力于新型无损检测焊接检测技术的研究与应用, 随着检测技术的提高和多样化, 对焊接缺陷的控制将日渐成熟, 焊接结构的质量也将逐步得到保障, 但是新的无损检测技术虽然有独特的优势, 也有相应的不足, 需要进一步推进实验研究并用于生产。

参考文献:

- [1] 王伏喜, 郭小辉, 鄂楠, 等. TOFD 技术在钛合金焊缝

- 检测中的应用[J]. 材料开发与应用, 2011, 26(5): 37—41.
WANG Fu-xi, GUO Xiao-hui, E Nan, et al. Application of TOFD Technology in Weld Detection of Titanium Alloy[J]. Material Development and Application, 2011, 26(5): 37—41.
- [2] 孟民冈. 超声波衍射时差法在焊接检测中的应用[J]. 航海工程, 2015, 44(5): 47—51.
MENG Min-gang. Application of Ultrasonic Diffraction Time Difference Method in Welding Inspection[J]. 2015, 44(5): 47—51.
- [3] 伍卫平, 范钦红. 一种新的TOFD检测平板对接焊缝缺陷深度的计算方法[J]. 无损检测, 2015, 37(12): 33—37.
WU Wei-ping, FAN Qin-hong. A New Method for the Calculation of the Defect Depth of Flat Butt Welds[J]. 2015, 37(12): 33—37.
- [4] 翟涛. 承压类特种设备无损检测技术综合论述[J]. 企业技术开发, 2014(1): 47—48.
ZHAI Tao. Nondestructive Testing Technology for Pressure Bearing Special Equipment[J]. Technology Development, 2014(1): 47—48.
- [5] 金亮. 电磁声发射的实验研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2007.
JIN Liang. Experimental Study of Electromagnetic Acoustic Emission[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2007.
- [6] 李岩松. 脉冲涡流检测频域特征提取与缺陷表征研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2014.
LI Yan-song. Frequency Domain Feature Extraction and Defect Characterization of Pulsed Eddy Current Testing[D]. Xiamen: Xiamen University, 2014.
- [7] 陈聪聪, 王帅, 田昌海. 脉冲涡流无损检测装置的研制[J]. 传感器世界, 2011(9): 22—25.
CHEN Cong-cong, WANG Shuai, TIAN Chang-hai. Development of Pulsed Eddy Current Nondestructive Testing Device[J]. Sensor World, 2011(9): 22—25.
- [8] 段晓帅. 脉冲涡流无损检测技术研究[D]. 天津: 天津大学, 2014.
DUAN Xiao-shuai. Study on Pulsed Eddy Current Non-destructive Testing of Segment[D]. Tianjin: Tianjin University, 2014.
- [9] 王博, 罗鹏, 白小云. 超声波相控阵技术对电网支柱瓷绝缘子检测的应用[C]// 陕西省第十四届无损检测年会暨产品展示会论文集, 2014.
WANG Bo, LUO Peng, BAI Xiao-yun. The Application of Ultrasonic Phased Array Technology to the Detection of the Pillar Insulator in Power Grid[C]// Proceedings of the Fourteenth Annual Conference on Nondestructive Testing and Product Exhibition of Shaanxi Province, 2014.
- [10] 单宝华, 喻言, 欧进萍. 超声相控阵检测技术及其应用[J]. 无损检测, 2004, 26(5): 235—238.
SHAN Bao-hua, YU Yan, OU Jin-ping. Ultrasonic Phased Array Testing Technology And Its Application[J]. Nondestructive Testing, 2004, 26(5): 235—238.
- [11] 单宝华, 喻言, 欧进萍. 海洋平台结构超声相控阵检测成像技术的发展及应用[J]. 海洋工程, 2005(2): 104—107.
SHAN Bao-hua, YU Yan, OU Jin-ping. Development and Application of Ultrasonic Phased Array Imaging Technology for Offshore Platform Structures[J]. Marine Engineering, 2005(2): 104—107.
- [12] 程继隆. 超声相控阵检测关键技术的研究[D]. 江苏: 南京航空航天大学, 2010.
CHENG Ji-long. The Research on the Key Technology of Ultrasonic Phased Array[D]. Jiangsu: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2010.
- [13] 张聪颖. 超声相控阵检测系统图像处理和成像技术的研究[D]. 天津: 天津大学, 2010.
ZHANG Cong-ying. Research on Image Processing and Imaging Technology of Ultrasonic Phased Array Inspection System[D]. Tianjin: Tianjin University, 2010.
- [14] 曾祥照. X射线数字成像检测的技术路线[J]. 无损探伤, 2009, 31(5): 33—37.
ZENG Xiang-zhao. Technology of X Digital Radiography[J]. Nondestructive Testing, 2009, 31(5): 33—37.
- [15] 杨国峰. 基于X射线成像的焊缝质量智能分析方法研究[D]. 黑龙江: 东北石油大学, 2014.
YANG Guo-feng. Research on Intelligent Analysis Method of Weld Quality Based on X Ray Imaging[D]. Heilongjiang: Northeast Petroleum University, 2014.