

# 多层包扎式容器环焊缝相控阵探伤模拟试验

黄 辉, 黄焕东, 刘 剑

(宁波市特种设备检验检测中心, 宁波 315020)

**摘要:**针对尿素合成塔多层包扎式结构深环焊缝的检测难点,采用超声相控阵技术对其进行软件模拟检测。通过对检测结果进行比对,证明了相控阵技术比常规超声检测技术更具优越性和有效性。

**关键词:**多层包扎式容器;环焊缝;超声相控阵检测

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2010)05-0362-02

## Simulation Investigation of the Girth Weld in Multi-Layered Container Using Ultrasonic Phased Array Technology

HUANG Hui, HUANG Huan-Dong, LIU Jian

(Ningbo Special Equipment Inspection Center, Ningbo 315020, China)

**Abstract:** As the multi-layered bandaging structure of urea synthesis tower for research object, the deep internal girth weld defect is simulation analyzed for using the ultrasonic phased array technology. Test results are compared to prove its superiority and effectiveness as compared with the conventional ultrasonic testing technique.

**Keywords:** Multi-layered bandaging container; Ring weld; Ultrasonic phased array testing

多层包扎结构(图 1)由于改善了单层结构在截面方向的受力状况,被普遍认为是一种非常安全的结构形式而被广泛应用在尿素合成塔中。然而,由于自身结构的原因,尿素合成塔时有事故发生。据统计,容器均从环焊缝部位开裂,爆炸起爆点在容器的环焊缝,继而造成整个设备的爆炸,因此深环焊缝可能是多层包扎式容器最为脆弱的部位。在对设备定期检验过程中,很难有一种方法能有效地检测出环焊缝内部缺陷。目前比较有效的一种检测模式是采用常规超声多探头分区段检验,即利用分割式双晶直探头、小角度纵波斜探头和多种 K 值横波斜探头组合对深环焊缝的纵向缺陷、内部及近表面缺陷进行定位、定量以及定性检测<sup>[1]</sup>。但这种检测方式耗时费力,效率低下,受多因素制约,可靠性不高。

## 1 超声相控阵检测技术

收稿日期: 2009-08-03

作者简介: 黄 辉(1984—), 男, 本科, 助理工程师, 长期从事压力容器/管道定期检验工作。

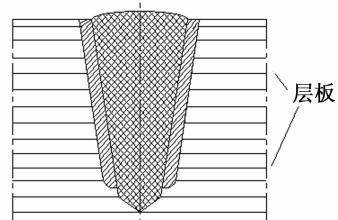


图 1 多层包扎式环焊缝实际结构图

超声相控阵技术具有常规超声波技术检测焊缝中线性缺陷的灵敏度较高的优点,又能灵活、快速、有效地控制声束形状和声压分布,并且具有多角度、覆盖范围大和数字化记录分析等优点,因此被广泛应用<sup>[2]</sup>。

超声相控阵系统通过软件控制探头中每一个晶片的激发时间,产生多组多角度的扫查单元,因此能很容易实现波束偏转,不用移动探头就可以实现动态扇形扫查。模拟试验拟选用由 0°角构成纵波波束组成扫查面,即线形(一维)扫查(图 2)。它可以不依靠任何机械运动就能将波束沿阵列的一个轴线移动,而这种移动是靠晶片的时间多路传输技术实

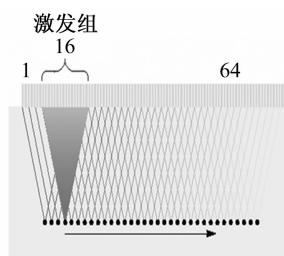


图 2 相控阵晶片阵列线形扫查原理图

现的。另外,配合相控阵的 A,B,C,D 和 S 成像显示,能直观地显现检测的全过程,降低缺陷判读的人为影响因素。

线形扫查由于是控制晶片组(如 16 位晶片探头即为 0~15,1~16,……)来激发超声波束,加上超声波束自身具有一定的扩散角度,可以实现波束一定范围内检测面的全覆盖。此特点要大大优于常规超声。

## 2 模拟检测

模拟试验选用设备为 Omniscan 16:128;采用 Tomoview 2.7R3 数据采集分析软件;另配备 5 MHz 64 晶片相控阵探头和 0°纵波相控阵探头用楔块。实际检验中可采用 MINI 编码器来对扫查方向进行准确定位。其检测方案如下:

(1) 制作模拟试块。在多层包扎式环焊缝的基本结构上,使用波束模拟软件,分别在多层包扎式焊缝试块的近表面、中部及底部制作三个模拟线性缺陷(图 3),其中中部和底部的模拟缺陷设在层板的连接处(该部位缺陷有较大的代表性)。试块实际结构图参照图 1,它是由 12 块 9~12 mm 厚的板多层焊接而成,厚度为 100 mm,长和宽为 200 mm。

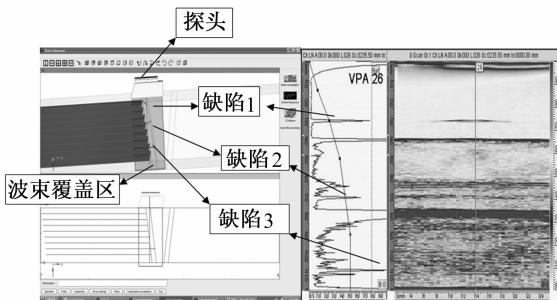


图 3 软件模拟及人工缺陷布置界面

图 4 A 扫及 S 扫成像图

(2) 多层包扎式容器一般较厚,其焊缝宽度也较宽,因此方案假定使用的相控阵 0°电子扫查在沿焊缝作一维扫查时,仅可覆盖焊缝一半以上,即沿焊

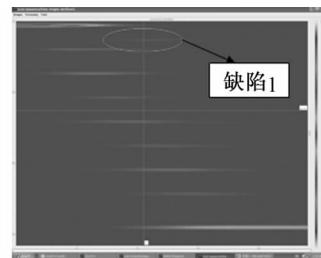
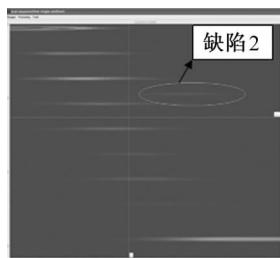
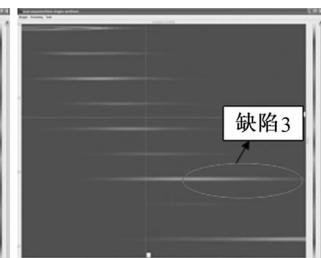
缝扫查两次才可以覆盖整个焊缝,以避免漏检。

## 3 检测结果分析与比对

经过计算机计算,模拟检测软件生成的检测结果见图 4。

(1) 由图 4 可见,三条缺陷在 A 扫及 S 扫中显示较为明显,波幅也较高,充分说明超声相控技术对线性缺陷的检测灵敏度。

(2) 工件上没有缺陷时,设备上的成像显示如图 5;而当工件中存在三条缺陷时,其成像图见图 6~8(此为 D 扫成像图,横轴为深度方向,纵轴为索引方向)。其中缺陷 1 和 2 均较明显,缺陷 3 正在层板延伸段,因此波形也有了一定延伸,并且其波幅也比原先要宽。

图 5 无缺陷焊缝  
D 扫成像图图 6 人工缺陷 1  
D 扫成像图图 7 人工缺陷 2D  
扫成像图图 8 人工缺陷 3D  
扫成像图

## 4 结语

通过软件模拟试验,较好地证明了超声相控阵技术对多层包扎式环焊缝检测的优越性。同时,超声相控阵技术较好地解决了常规超声波技术检测多层包扎式容器环焊缝的难点,如:

(1) 常规斜射超声波束无法穿透容器壳体对环焊缝横截面进行 100% 扫查,即无法使用斜探头检出焊缝中的纵向线性缺陷,在其深度上的检验存在漏检和不确定性。

(下转第 366 页)

陷端部的埋深信息。弧顶在图像中的横向位置包含了缺陷在试件中沿着B扫描方向的位置信息。通过计算,可以准确定位裂纹缺陷在试块中的位置。

由于缺陷1,2上端埋深相同,而缺陷1的高度大于缺陷2的高度,在扫描图中表现为上端弧状衍射波相同,但缺陷1下端衍射波较缺陷2明显且位置较深,表明缺陷1,2均可检出但当缺陷愈大时或距探测面愈远时愈易于检测,与检测理论相一致。

图5为用45°探头对试块B进行检测的B扫描图像,探头间距为 $2S=21$  mm,沿试块上表面扫查。可见堆焊层结合面反射波清晰明了,缺陷3,4的上、下端弧状明显、衍射波清晰、相位关系明了。上端衍射波和直通波相位相反;下端衍射波和直通波相位相同。3,4号裂纹图像均能清晰反映该裂纹特征。

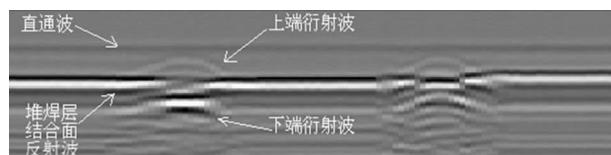


图5 45°探头对试块B人工裂纹的检测图像

比较图4和5可知其相同点:两幅图都能清晰扫描出堆焊层结合面,同时也都能扫描出要检测的缺陷且端点弧状波形明显。当裂纹长度增加时更易于被检测到且图像端点弧状波形清晰,这时通过清晰的弧顶位置计算出的裂纹高度会更接近裂纹缺陷实际尺寸。

不同之处在于图4缺陷较图5缺陷接近上表面,图5缺陷下端埋深比图4深,图5中的缺陷高度小于图4中的高度。对比图像可知图5更能反映裂纹特征,表明缺陷距上表面的距离比缺陷本身的高度对检测的影响要大,也即越接近上表面检测难度愈大。图4中的上端点弧状波形与直通波相叠加,而图5中的上端点弧状波形独立存在。计算裂纹高度时,图5中的上下两弧顶位置计算出来的裂纹高

(上接第363页)

(2) 常规超声波对层间结合处的反射波会掩盖焊趾横向裂纹的回波。

由于相控阵技术的应用还比较少,在国内检验检测领域还没有一个成熟统一的标准,因此,在实际检测中,可以将相控阵技术与相对成熟的常规超声技术相结合。采用JB/T 4730—2005作为检测标准,利用常规超声技术来对相控阵检测发现的可疑

度会更接近实际值,因为裂纹高度的计算结果依赖于图像中缺陷边缘处的清晰程度,而此时的裂纹埋深较深,波形受直通波的影响减小。同时,由于裂纹愈加远离盲区,波形变得更加明显清晰。

#### 4 总结

通过以上对模拟裂纹试块的检测可以看出,采用TOFD技术检测堆焊层下母材裂纹的图像清晰、直观、易分辨;可以检测到表面下3~10mm内的垂直裂纹,能为堆焊质量评价提供比较可靠准确的信息,具有实用价值。总结如下:

(1) 对薄壁堆焊层下典型的裂纹缺陷的特征进行了分析和研究,提出了用TOFD技术检测裂纹状缺陷,并进行缺陷识别、定位和定量的设想。

(2) 通过采用TOFD方法及45°探头检测可知,能够准确、可靠地检测出薄壁奥氏体堆焊合金表面下3~10mm内的垂直裂纹,拓宽了JB/T 4730.10《承压设备无损检测 第10部分:衍射时差法超声检测》报批稿所规定的材料为低合金钢及工件厚度 $\geq 12$  mm的应用范围。

(3) 为了提高检测精度,可采用高性能窄脉冲探头;同时也可通过对后续图像处理的方法改善图像,以降低检测误差。

#### 参考文献:

- [1] 许遵言. 不锈钢及镍基堆焊层厚度测量[J]. 锅炉技术, 2002, 33(3): 17—20.
- [2] Mihara T, Otsuka Y, Cho H, et al. Time of flight diffraction measurement using laser ultrasound[J]. Experiment Mechanics, 2006(46): 561—567.
- [3] 李衍. 超声TOFD原理和方法要领[J]. 无损检测, 2007, 29(2): 88—93.
- [4] Honarvar F, Sheikhzadeh H, Moles M, et al. Improving the time-resolution and signal-to-noise ratio of ultrasonic NDE signals[J]. Ultrasonics, 2004(41): 755—763.

处进行复验。在检测中、检测完成后对检测中采集的数据进行全面的形状、尺寸和性状解释与评价。

#### 参考文献:

- [1] 程晓阳, 康纪黔. 多层包扎式容器环焊缝超声波探伤试验研究[J]. 无损检测, 2002, 24(3): 110—113.
- [2] 钟志民, 梅德松. 超声相控阵技术的发展及应用[J]. 无损检测, 2002, 24(2): 69—71.