

TOFD 技术在特殊结构焊缝检测中的应用

洪作友¹, 唐兴军²

(1. 上海宝钢工业检测公司, 上海 201900; 2. 深圳泰克尼林公司, 深圳 518028)

摘要:叙述了 TOFD 技术的工作原理。在蜗壳焊缝试板及焊缝检测中将超声波和射线检测技术进行了对比。焊缝的缺陷解剖试验表明, TOFD 技术能检出常规超声和射线检测方法难以检出的平面状缺陷, 对气孔、夹杂等体积状缺陷的检测结果与实际解剖结果有出入。鉴于 TOFD 技术缺陷检出率高, 对面状缺陷灵敏、不受方向性限制、检测速度快、扫描图显示直观并且无辐射等优点, 因此在石化装置等在役特种设备的安全评定中具有很好的推广价值。

关键词:超声波衍射时差技术; 蜗壳焊缝; 对比试验; 检出率

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2009)07-0548-03

TOFD Technique Applied to Weld Inspection of Special Structures

HONG Zuo-You¹, TANG Xing-Jun²

(1. Shanghai Baosteel Industry Inspection Co, Shanghai 201900, China;

2. Shengzhen Teike Industry Inspection Co, Shengzhen 518028, China)

Abstract: The working principle of TOFD technique was described. The testing effects were compared between radiographic testing and ultrasonic testing method for the detection of volute plate and seam weld. The actual weld section showed that the planar defects, which were difficult to detect by conventional ultrasonic testing and radiographic testing method, were easy to TOFD technique, but there was some error for the porosity, inclusions and such as volume-like defects between TOFD testing and actual section. Due to its high defect detection rate, sensitive to planar defects, less limits by direction, fast testing speed, intuitive scanning image and with no radiation and so on, TOFD technique had good prospect on the safety evaluation at petrochemical installations and so on special equipments.

Keywords: Time of diffraction testing technique; Volute weld; Contrast test; Detection rate

超声波时差衍射(TOFD)技术因其缺陷检出率高、深度定位准确以及检测效率高,在国内已用于天然气管道、加氢反应器和大型球罐等设备焊缝的检测。电站蜗壳焊缝为不等厚结构,为验证 TOFD 技术在检测电站机组蜗壳焊缝上的适用性,以及在蜗壳上是否可用 TOFD 代替 RT 技术,笔者参加了在蜗壳焊缝及焊接试板上进行的 TOFD 与 RT, UT 检测能力对比试验。结果表明,该技术可成功地应用于电站机组蜗壳现场安装焊缝的检测。

1 TOFD 原理

TOFD 检测方法是一种不基于声波幅度的超声波检测技术,探头的布置类似于串列反射法,通常使用一对晶片尺寸和频率等参数相同或相近的探头,分置于焊缝两侧。其基本原理依据惠更斯原理,入射波到达缺陷尖端后,缺陷尖端就是一系列新的衍射波源,因此接收探头可以接收到来自各个方向的缺陷衍射波。

TOFD 波形采用射频显示,这样可以找出缺陷波和侧向波的相位。对缺陷深度和自身高度的测量是基于时间差法,也就是测量缺陷端部衍射点与侧向波的时间差,因此在检测工件厚度方向上具有很

收稿日期: 2008-11-28

作者简介: 洪作友(1965—),男,工程师,NDT 高级人员,长期从事压力容器和压力管道检验检测技术工作。

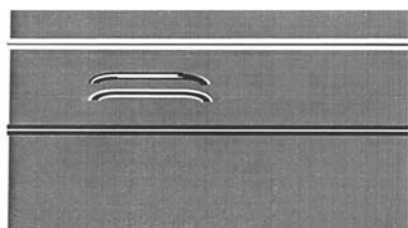


图1 TOFD方法中缺陷的B扫描成像示意

高的准确性,其缺陷的B扫描成像示意图见图1。

2 对比试验

2.1 对比试验的方法及标准

蜗壳焊缝结构的 TOFD 检测对比试验包括缺陷检出率和缺陷性质评定。一台蜗壳由几十节蜗壳组成,相邻两节蜗壳的板厚不同,厚度沿水流方向变化,焊缝为不等厚结构,厚度范围为 20~68 mm。TOFD 检测时每四节蜗壳作为一个新的检测起始点,每次扫查长度为 300 mm,实际有效长度取 250 mm,与射线底片有效长度相同。

试验中,UT 和 RT 的缺陷验收按照 ASME 第八卷^[1]的有关规定执行,TOFD 的缺陷验收参照 ASME 标准^[2-3]和欧共体的相关规范^[4-7]。

对比试验分别在蜗壳焊缝上和焊接试板上下进行。RT 采用¹⁹²Ir 型 γ 源检测。焊接试板制作成与蜗壳焊缝相似的不等厚结构。考虑到焊缝为不等厚结构,为尽可能地减小检测盲区,TOFD 采用双面扫查检测方式。TOFD 法所用仪器为以色列 ISONIC2005,采用半自动检测法进行检测。

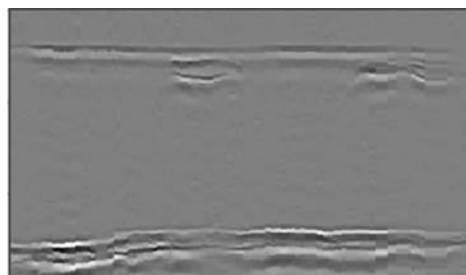
检测厚度为 20~35 mm 的焊缝时,所用探头晶片为 $\phi 6$ mm,频率为 6 MHz,声束角度为 $\theta=60^\circ$,探头对间距按 $4/3Dt\theta$ (D 为工件厚度)选取;检测厚度为 35~68 mm 的焊缝时,探头晶片为 $\phi 10$ mm,探测频率为 4 MHz,声束角度和探头对间距选取规则同上。

2.2 蜗壳焊缝对比试验

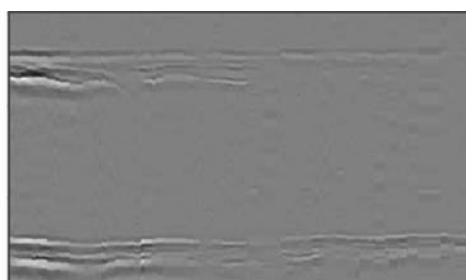
在对比试验时首先进行 TOFD 试验,检测后分别进行 UT 和 RT。最后将各自判定的不合格缺陷进行解剖,以验证各自的检测准确性。试验对象为四台机组的现场安装蜗壳与过渡板连接焊缝及纵焊缝。解剖方式为碳弧气刨。

试验结果显示,TOFD 能够清晰地检测出 RT 和常规 UT 横波反射法难以检测出的平面状缺陷,且长度、深度测量准确。对缺陷性质至少可以判定出是体积状缺陷还是面状缺陷。经解剖证实缺陷的

尺寸和深度与 TOFD 检测结果具有很好的吻合性。图 2 是裂纹的显示轮廓。



(a) 裂纹 1



(b) 裂纹 2

图2 蜗壳焊缝中的缺陷 TOFD 扫描图

2.3 焊接试板对比试验

由于 TOFD 对气孔、夹渣等体积状缺陷的检测结果与实际解剖有一定出入,为了进一步验证 TOFD 检测代替 RT 的能力,增加了焊接试板的对比;试板上制作了裂纹、未熔合、密集气孔和夹渣等焊接缺陷(图 3)。试板的解剖采用机加工的方法,在刨床上精细刨削。在解剖中发现,经 TOFD 检测出的部分裂纹缺陷只有在刨削到一定深度后使用磁粉检测才能发现它的存在(表 1)。

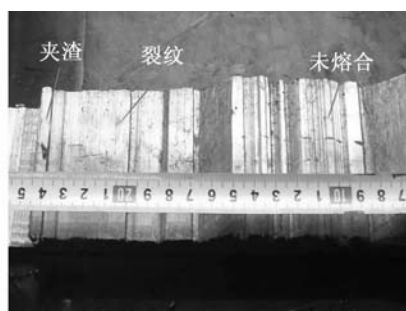


图3 焊接试板缺陷

表1 各检测方法对某蜗壳焊缝的检测结果对比

检测对象	超标缺陷总数/个	检出量/个		
		UT	RT	TOFD
蜗壳焊缝	176	78	48	133
焊接试板	28	19	11	27

3 试验分析

(1) 表1中显示,蜗壳焊缝上的三种方法缺陷检出率都较低,这是因为受到现场条件限制、焊缝板厚的不同以及表面粗糙度的影响,特别是丁字缝处几何形状较为复杂,对UT和TOFD检测有较大的影响。

(2) RT采用 ^{192}Ir 型 γ 源检测,底片不够清晰,对RT的缺陷检出率有较大影响。

(3) 现场蜗壳只能用碳弧气刨进行解剖,对于自身高度较小的缺陷,在气刨时可能被刨除。而焊接试板的解剖方式与现场蜗壳焊缝不同,其经过机械加工精细的解剖,能够更真实地反映各种检测方法的检测能力。

(4) TOFD对缺陷性质的判定不够准确,需要借助常规UT等方法进一步判定。

(5) 在制定具体的检测工艺时,应采取减小检测盲区的具体措施。确保TOFD检测技术的可靠性和有效性。

4 TOFD的检测应用

八台蜗壳现场安装焊缝在UT检测合格后用TOFD检测代替RT。由于对比试验中三种方法在蜗壳焊缝检验中都有一定程度的漏检,因此先由常规UT检测,并将不合格缺陷返修后再用TOFD对所有焊缝进行复验。这样由于残余缺陷大大减少,可以减少TOFD数据分析时间。TOFD仍然采用与对比试验相同的双面检测工艺。

丁字缝处几何形状过于复杂,基本上是三种板厚,而且碟形边有折弯,TOFD扫描需要对焊缝做大量修磨,费时费工,修磨后也会损伤部分母材金

(上接第540页)

得到缺陷发生发展的声发射信号。提出采用裂纹萌发时声发射事件平均幅值和最大幅值作为确定强度的定量指标,划分出裂纹缺陷的强度等级。

(2) 提出利用事件累计计数变化率作为评价金属结构裂纹缺陷的活度定量和等级划分指标。分析表明该指标与声源和传感器之间距离有关。

(3) 评价指标中定量值的确定、放大和缩小比例(百分比确定)等参考了相关的国家标准。当其应用于大型起重机械金属结构评价时,准确性和适用性还需更多的实践验证。

提出的在役裂纹缺陷危害性等级评价方法已应

属,因此仍然采用RT。

5 结论

(1) TOFD检测技术的缺陷检出率明显高于常规UT和RT检测技术,对面状危害性缺陷灵敏,并且不受缺陷方向限制,检测速度快,扫描图显示的缺陷较为直观,并可永久保存。在石化装置反应器、高压蒸汽管道等中厚板焊缝的检测中代替RT检测时具有速度快、综合成本低且无辐射的优点,值得推广。

(2) 由于TOFD技术对缺陷深度的测量采用时间差法,可以精确地测量缺陷的深度和自身高度,对缺陷的定性难度和准确性介于RT和常规UT之间,可以为石化装置等在役特种设备的安全评定提供准确可靠的分析数据。

(3) 对于体积状缺陷,因为缺陷大小及缺陷的形状对声波的衍射能力不同,TOFD技术可能会有漏检,并且对直径小的气孔定量困难。

参考文献:

- [1] ASME VIII 锅炉压力容器规范第八卷[S].
- [2] ASME CODE CASE-2235 锅炉压力容器规范案例[S].
- [3] ASTM-2373-04 超声衍射波时差技术(TOFD)标准[S].
- [4] BS 7706—1993 用于缺陷检测、定位和定量的超声衍射波时差方法的校正和设置[S].
- [5] ENV 583-6 2000 超声衍射波时差法用于缺陷检测和尺寸测定[S].
- [6] NEN 1822—2005 超声衍射波时差法检测技术验收规范[S].
- [7] CEN/TS 14751 超声衍射波时差法(TOFD)检测焊缝[S].

用于葛洲坝电厂的一套起重机械专用吊具检测中,未发现活性裂纹缺陷,与实际情况相符,取得较好效果。该方法为利用声发射技术定量检测其它类型的活性缺陷提供了有效途径。

参考文献:

- [1] 吴彦,沈功田,葛森.起重机械无损检测技术[J].无损检测,2006,28(7):367—372.
- [2] 吴占稳,沈功田,王少梅,等.声发射技术在起重机无损检测中的现状[J].起重运输机械,2007,47(10):1—4.
- [3] 李力,陈向前,赵美云,等.起重机梁活性缺陷的声发射信号特征[J].无损检测,2008,30(6):334—337.