

T形焊缝超声相控阵检测的计算机辅助技术

陆铭慧 程俊 张颖

(南昌航空大学无损检测技术教育部重点实验室,南昌 330063)

文 摘 超声相控阵技术在 T 形焊缝中的应用表现出其明显优势,但声波在 T 形焊缝中的辐射区域不能形象界定,且回波来源的位置得不到准确地判断。针对 T 形焊缝的结构编译了超声相控阵检测辅助软件,对试样中的人工孔检测表明:采用计算机辅助技术可以实现 T 形焊缝超声相控阵扇扫声束覆盖及回波信号的识别。

关键词 T 形焊缝,超声相控阵,声束覆盖,计算机辅助

Computer-Aided Technology of Ultrasonic Phased Array Inspection for T-Weld

Lu Minghui Cheng Jun Zhang Ying

(Key Lab. of Nondestructive Testing, Ministry of Education, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063)

Abstract The application of the ultrasonic phased array technology on T-weld shows its obvious advantages. However, the beam areas of T-weld still can not be defined, and can not estimate the position of the echo. According to the structure of the T-weld, the ultrasonic phased array inspection support software is compiled. Artificial sample tests suggests that the computer-aided technology could achieve the beam coverage of T-welded and help to distinguish the echo signal.

Key words T-weld, Ultrasonic phased array, Beam coverage, Computer-aided

0 引言

T 形接头结构在工业建筑、船舶工程、冶金、石油等领域均具有广泛的应用。根据 T 形焊接接头的特点,可以采用直探头在翼板外侧面上对应于焊接连接的区域进行扫查,也可以采用斜探头在翼板外侧面上、翼板内侧面上和腹板的表面上对焊接区域进行扫查^[1]。

随着科学技术不断发展和信息技术的广泛应用,超声相控阵技术运用于焊缝检测已成为现实^[2]。扇形扫描方式在 T 形焊缝中的运用,由于其波束合成方向呈发射状,可以实现焊缝多角度检测,但扇扫声束覆盖焊缝接头区域仍不能形象界定,影响探头在焊缝检测位置确定,这对超声相控阵检测 T 形焊缝工艺设计是不利的。本文介绍了一种用于超声相控阵检测 T 形焊缝的数值计算方法,旨在实现 T 形焊缝相控阵检测的声束模拟和缺陷定位。

1 模型建立

1.1 T 形焊缝分析模型的建立

T 形接头焊缝由翼板和腹板焊接而成,坡口开在腹板上,可以分为单面坡口,双面坡口、双角焊(I 形坡口)^[3]。为确定焊缝检测区域,定义翼板壁厚 t_1 ,腹板壁厚 t_2 ,间隙 b ;坡口尺寸分别为 H_1 、 H_2 ,倾斜角分别为 α_1 、 α_2 。以腹板中心线为 x 轴,翼板中心线为 y 轴,建立图 1 所示平面直角坐标系。

图 1 中,HAZ 表示焊缝热影响区,此区域大小为腹板厚度 30%,最小为 10 mm,最大为 20 mm。REF 为探伤面参考线,此条直线定义为距离焊缝坡口一定距离的标记线,作为标记探头和焊缝根部依据,其位置根据焊接前标记确定^[4]。探头位于翼板外侧时,参考线默认为 $y=0$ 直线。①~⑤分别为超声检测时探头所处位置。

在建立的平面直角坐标系中,根据 T 形焊缝各结构几何参数,容易确定 T 形焊缝剖面轮廓。

收稿日期:2011-10-26;修回日期:2011-11-28

基金项目:江西省研究生教育创新基金

作者简介:陆铭慧,1963 年出生,博士,副教授,主要从事无损检测方面的科研和教学工作。E-mail:lunara@163.com

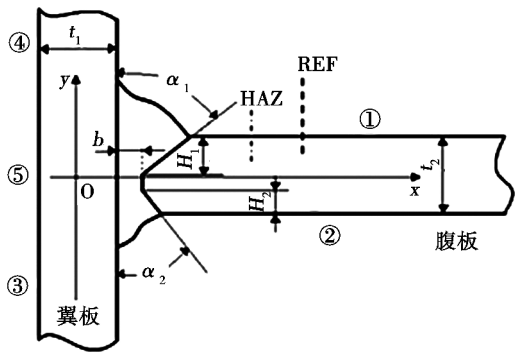


图1 T形焊缝模型

Fig.1 Model of T-weld

1.2 扇扫模型的建立

相控阵检测 T 形焊缝时,线阵列探头多配合横波斜楔进行扇形扫查。在图 1 建立的坐标系中,根据相控阵探头距离参考线的长度 L ,确定探头在 T 形焊缝上的位置,绘制相控阵探头。选取中心阵元为参考阵元,绘制不同角度声束线,如图 2 所示。定义中心阵元高度为 E_h ,楔块角度为 ω ,中心阵元声束不发生偏转的入射点距离探头前端长度为 S_0 ,阵元间距为 p 。

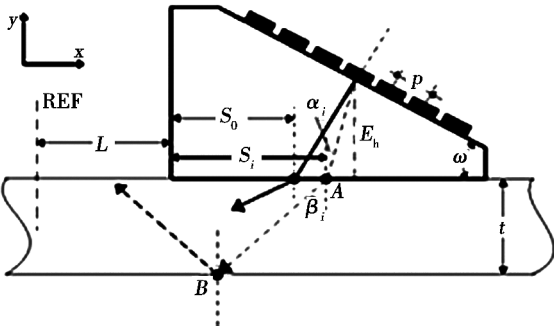


图2 横波声束扫描

Fig.2 Scanning of transverse wave

折射角度为 β_i 的声束,其入射角度 α_i 为:

$$\alpha_i = \arcsin\left(\frac{c_1}{c_2} \cdot \sin\beta_i\right) \quad (1)$$

式中, c_1, c_2 分别为楔块纵波声速和工件横波声速。该条声束的入射点距离探头前端长度为:

$$S_i = S_0 - E_h \cdot (\tan\alpha_i - \tan\omega) \quad (2)$$

第 i 条声束线入射点 $A(x_A, y_A)$ 即由 S_i 确定,声束以折射角度 β_i 入射工件,一次波与底面交点 B 坐标为:

$$x_B = x_A - t \times \tan\beta_i; \quad y_B = y_A - t \quad (3)$$

式中, t 为工件壁厚。声束经工件底面反射,其二次波满足反射定理,方程为:

$$-\frac{1}{\tan\beta_i} = \frac{y - y_B}{x - x_B} \quad (4)$$

此时,折射角为 α_i 的声束线在工件中的相对位置确定。相控阵探头位于 T 形焊缝①、②、③、④处的计算机辅助程序即建立在上述模型基础上,实现多角度

横波声束覆盖和定位。探头位于 T 形焊缝位置⑤时,常采用纵波扇形扫查方式,模型(翼板壁较薄时须配合延时块使用,此模型未加延时块)如图 3 所示。

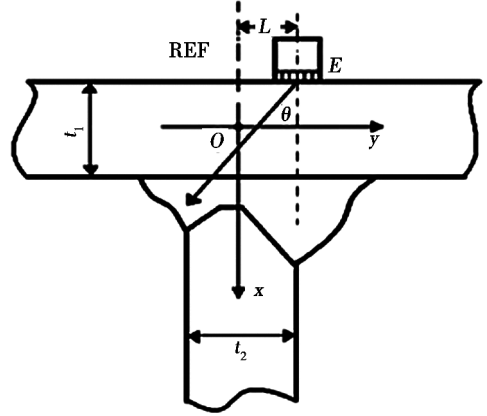


图3 纵波声束扫描

Fig.3 Scanning of longitudinal wave

中心阵元 $E(x_E, y_E)$ 距离参考线长度为 L ,过 E 点有一扫描角度为 θ 的声束,其方程为:

$$\begin{cases} -\tan\theta = \frac{y - y_E}{x - x_E} \\ x_E = -\frac{t_1}{2}; \quad y_E = L \end{cases} \quad (5)$$

此时,任意角度 θ 的声束线在工件中的相对位置确定。实际检测中,位置⑤处常使用直射纵波检查缺陷,故纵波扇扫模型只考虑了一次声束的覆盖。

2 实验研究及结果

2.1 实验试样与检测设备

实验采用翼板壁厚 $t_1 = 30$ mm,腹板壁厚 $t_2 = 30$ mm, $H_1 = 18$ mm, $H_2 = 10$ mm, $\alpha_1 = 35^\circ$, $\alpha_2 = 50^\circ$,焊接前留有间隙量约为 $3 \sim 4$ mm 的 T 形焊缝为检测对象,材料为 Q235B,纵波声速为 5 900 m/s,横波声速为 3 233 m/s。焊缝中钻有 $\Phi 3$ mm \times 20 mm 人工孔,该孔距翼板外侧面 32 mm,距腹板下侧面 27 mm。焊接前,距离坡口 50 mm 处标记参考线 REF, HAZ 取 10 mm (30 mm \times 30% $<$ 10 mm) 为探伤需检测的区域。

超声相控阵检测采用频率 5 MHz,16 阵元,间距 $p = 0.6$ mm 线阵探头;楔块声速 2 337 m/s,经校准角度 $\omega = 39.5^\circ$,中心阵元 $E_h = 10.4$ mm, $S_0 = 14.9$ mm。

2.2 声束覆盖

T 形焊缝可在腹、翼板五位置处根据需要进行检测,相控阵探头位于不同位置时,其检测范围均有不同。为验证人工孔所在位置,运用笔者编译的计算机辅助程序,分别在 T 形焊缝位置①、②、⑤处实施声束覆盖,分别用二次横波、一次横波和直射纵波模拟覆盖人工孔所在焊缝区域。

图4(a)为探头位于T形接头位置1处, $L=-15$ mm,偏转角度为 $35^{\circ} \sim 65^{\circ}$,其二次波可覆盖人工孔所在区域;(b)为探头位于位置2处, $L=-40$ mm,偏转角度为 $30^{\circ} \sim 70^{\circ}$,一次波可覆盖人工孔所在区域;(c)采用超声相控阵纵波检测,直接耦合, $L=0$ mm,偏转角度为 $-30^{\circ} \sim 30^{\circ}$,其波束辐射范围可覆盖大部分焊缝区域。检测中,依据上述方法所确定的检测参数,固定探头,设置相控阵检测设备。

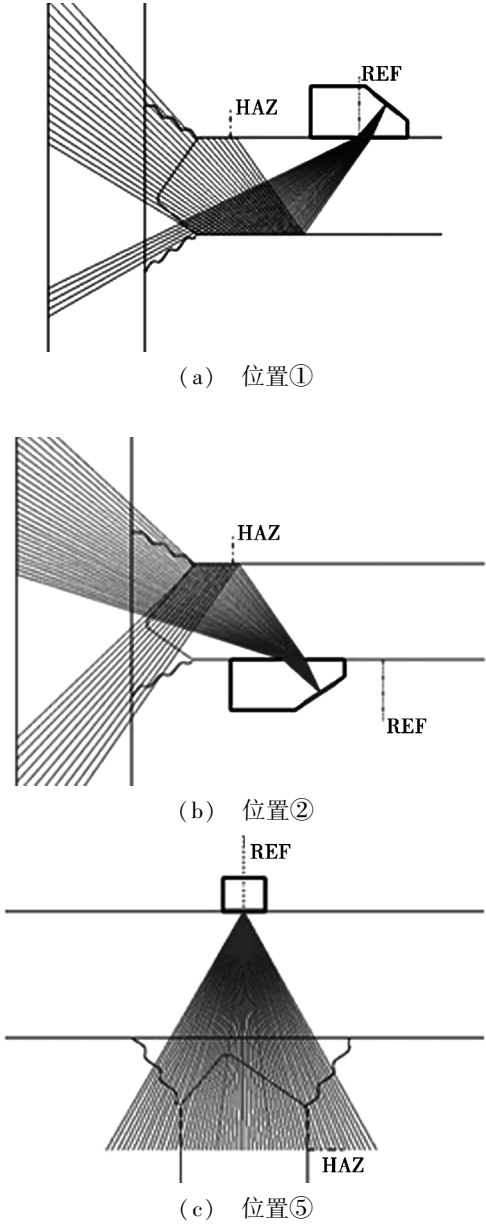


图4 焊缝截面声束覆盖效果
Fig.4 Effect of weld cross-section beam coverage

2.3 人工孔定位

根据确定的检测参数,在试样上进行试验。探头固定于图4(a)位置处,扇扫成像结果见图5。图5中,人工孔回波信号幅度最高处对应扫描线角度 49.2° ,声程 84.07 mm,采用计算机辅助程序对缺陷定位,结果见图6。声束入射点距离参考线 $Y=1.68$ mm,缺陷深度为 $D=5.07$ mm。

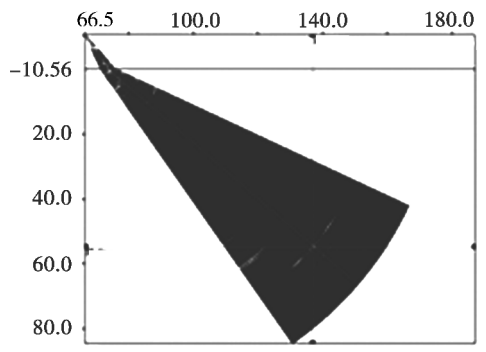


图5 位置①处扇扫成像

Fig.5 Sector scanning image in position one

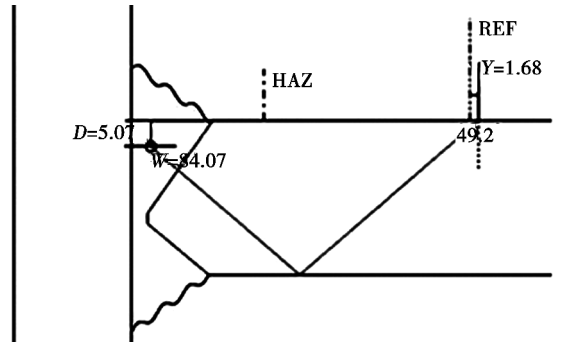


图6 信号定位示意图

Fig.6 Schemes of signal positioning
探头固定于图4(b)处,扇扫成像结果见图7。

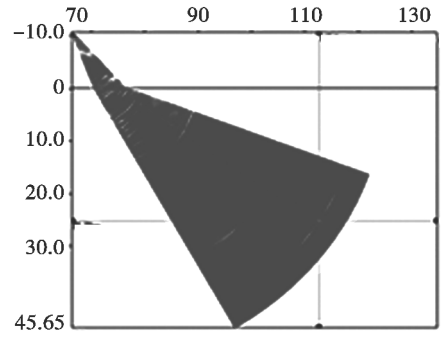


图7 位置②处扇扫成像

Fig.7 Sector scanning image in position two

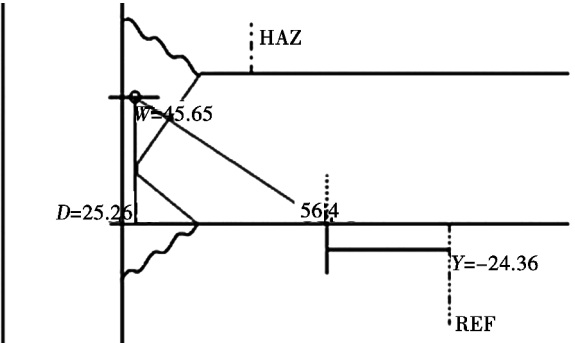


图8 信号定位示意图

Fig.8 Schemes of signal positioning

图7中人工孔回波信号幅度最高处对应扫描线角度 56.4° ,声程 45.65 mm,采用计算机辅助程序对缺陷定位,结果见图8。声束入射点距离参考线 $Y=-24.36$ mm,缺陷深度为 $D=25.26$ mm。

探头固定于图 6(c)处,扇扫成像结果见图 9。

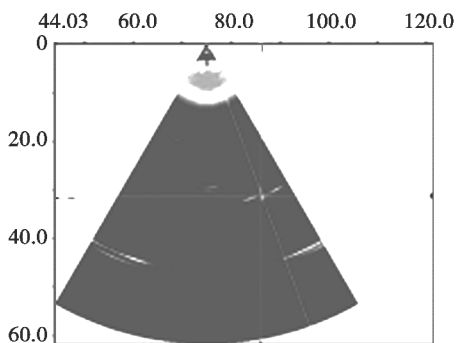


图 9 位置⑤处扇扫成像

Fig. 9 Sector scanning image in position five

图 9 中人工孔回波信号幅度最高处对应扫描线角度 19.8° , 声程 33.43 mm , 采用计算机辅助程序对缺陷定位, 结果见图 10。

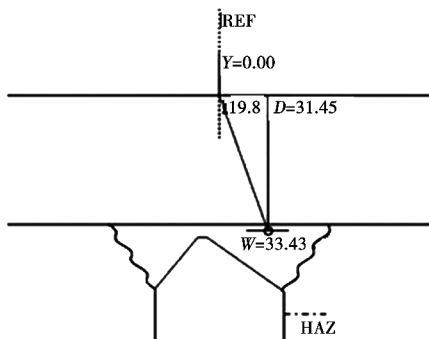


图 10 信号定位示意图

Fig. 10 Schemes of signal positioning

声束入射点位于参考线上, 缺陷深度为 $D = 31.45 \text{ mm}$ 。

从试验过程可以得出, 声束覆盖有利于判断 T 形焊缝检测区域, 可以辅助检测人员设置相控阵检测参数。计算机辅助定位结果与人工试样缺陷位置符合良好。

3 结论

(1) 基于超声相控阵扇扫原理的计算机辅助方法可以有效展示声束覆盖范围, 对超声相控阵检测 T 形焊缝具有实际意义。

(2) 计算机辅助定位程序, 能够有效地判断信号回波来源, 有利于实现 T 形焊缝的快速定位。

(3) 超声相控阵技术与计算机辅助技术的结合有利于实现焊缝检测的智能化。

参考文献

- [1] 周克印, 周在杞, 姚恩涛, 等. 建筑工程结构无损检测技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 132-134
- [2] 施克仁, 郭寓岷, 等. 相控阵超声成像检测[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 23-25
- [3] JGJ81—2002, 建筑钢结构焊接技术规程[S]
- [4] GB/T 11345—1989, 钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级[S]

(编辑 吴坚)

二氧化硅基复合材料加速时效技术

2011 年 10 月 27 日, 中国航天科技集团公司在北京主持召开了“二氧化硅基复合材料加速时效技术”项目的成果鉴定会。

本成果针对二氧化硅基透波复合材料的自然失效处理不能满足天线信号调试周期及环境稳定性问题, 提出了材料加速失效的介电性能及尺寸快速稳定的新方法, 揭示了吸湿对材料介电性能和尺寸的影响规律, 突破了材料加速时效关键技术, 使材料的综合性能平衡时间由原来的 3~6 个月缩短至 1 个月以内, 时效处理效率提高了 3 倍以上, 有效解决了自然时效周期过长的瓶颈问题。

该成果已获得了专利权, 其总体水平居国内领先, 已成功应用于型号研制, 并通过了多次飞行试验考核。

· 罗焱 ·