

奥氏体焊缝的两种超声检测方法对比

张国强, 强天鹏, 龚成刚, 王道才, 孟辉

(江苏中特创业设备检测有限公司, 南京 225003)

摘要:结合工程应用数据, 对全聚焦相控阵超声和双晶聚焦纵波斜探头超声两种技术的粗晶焊缝质量检测结果进行了对比分析, 得到两种技术的信噪比数据、缺陷检出能力数据以及扫查覆盖能力的评价结果, 指出了全聚焦相控阵检测技术具有覆盖范围大的特性, 可减少扫查次数, 提高检测速度, 降低缺陷漏检的概率。

关键词:全聚焦相控阵; 双晶聚焦; 奥氏体; 焊缝检测

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2022)07-0029-04

Comparison of two ultrasonic testing methods for austenitic welds

ZHANG Guoqiang, QIANG Tianpeng, GONG Chenggang, WANG Daocai, MENG Hui

(Jiangsu Zhongte Chuangye Equipment Inspection Co., Ltd., Nanjing 225003, China)

Abstract: Combined with the engineering application data, the results of coarse-grained weld quality inspection by full focus phased array ultrasound and double crystal focused longitudinal wave angle probe ultrasound are compared and analyzed. The signal-to-noise ratio data, defect detection ability data and scanning coverage ability of the two technologies are obtained. It is pointed out that the full focus phased array inspection technology is characteristic of large coverage, which can reduce the scanning times and improve the detection speed, and thus decreasing the rate of undetected defects.

Key words: fully focused phased array; twin-crystal focusing; austenite; weld inspection

奥氏体粗晶焊缝的超声检测是超声技术领域的难点。奥氏体焊缝晶粒粗大导致超声能量的衰减和散射非常严重, 且其具有的声能各向异性会使得超声传播路径发生扭曲, 故常规超声技术无法对其进行检测。实际常采用低频宽带宽双晶聚焦纵波斜探头技术对奥氏体不锈钢焊缝进行检测。

全聚焦相控阵检测技术是在相控阵技术的基础上进一步改进和发展起来的超声检测新技术。与常规相控阵技术相比, 全聚焦相控阵技术具有信噪比高, 带宽宽, 声束覆盖范围大, 成像质量好等优点, 有望在大厚度奥氏体不锈钢焊缝的检测中得到更广泛的应用。

收稿日期: 2021-12-15

作者简介: 张国强(1987—), 男, 工程师, 主要从事无损检测技术工作

通信作者: 强天鹏(1951—), 男, 研究员, 主要从事压力容器检验与无损检测工作, 13776663939@vip.163.com

为保证某重要压力容器的超声检测可靠性, 笔者设计了一次试验。该容器采用奥氏体不锈钢制作, 厚度为 80 mm, 试验方案是采用全聚焦相控阵超声 3D 实时成像技术和双晶聚焦纵波斜探头超声技术分别实施检测, 以比较两种超声检测技术的特性, 验证大厚度奥氏体不锈钢焊缝检测工艺的可靠性和合理性。

1 试块制作

设计的试块结构如图 1 所示, 试块材料为 S32168, 厚度为 80 mm, 试块上焊缝的坡口型式、焊接工艺、焊缝外形与实际工件上的相同。焊缝焊接完成后去除表面余高, 机加工至平滑, 焊缝宽度约为 50 mm。

在试块的不同深度上加工多个长横孔, 规格为 2 mm×40 mm(直径×长度), 其中 4 个分布在熔合线上, 4 个分布在焊缝中间, 深度分别为 10, 30, 50, 70 mm。

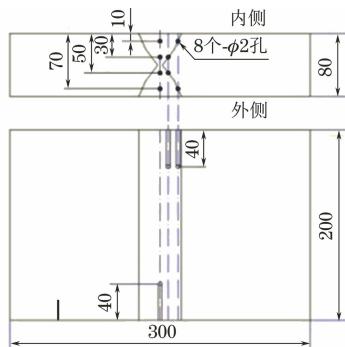


图 1 试块结构示意

2 检测原理

全聚焦相控阵技术实际上包括全矩阵数据采集(FMC)和全聚焦数据处理(TFM)两个过程^[1]。

FMC采集的数据需要通过TFM处理后再以图像的形式显示出来。TFM过程如下:首先确定一个合理的检测数据重建区域(目标区),然后将目标区进行空间离散化成为一个网格,再基于相控阵探头的晶片位置计算网格区域中每一点的聚焦法则。试块的全聚焦相控阵成像如图2所示。

双晶聚焦纵波检测是一种特殊的脉冲反射超声技术,具有穿透粗晶组织能力强,信噪比高的特点。该技术要求所使用的双晶聚焦纵波斜探头具有宽带宽,短脉冲的特性。双晶聚焦纵波斜探头主要依靠缩小目标区来降低噪声,因此有效检测区域小是其

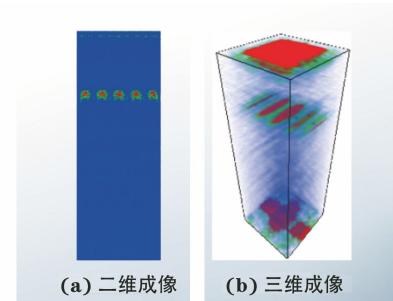


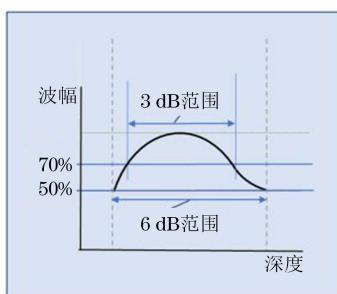
图 2 试块的全聚焦相控阵成像

缺点。

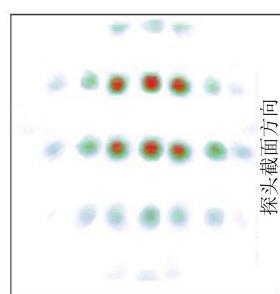
3 两种技术的声场分布对比

两种技术在原理上有明显不同,所以其声场分布也有明显的差异。双晶聚焦探头的声束集中,指向性好,扩散范围也小,在焊缝厚度方向上的覆盖范围小;全聚焦相控阵探头的声束分布引入了“场覆盖”的概念,在待检目标区内其声束覆盖范围大,目标区内充满超声波能量^[2],与双晶聚焦技术相比,单次扫查能够覆盖的范围更大。

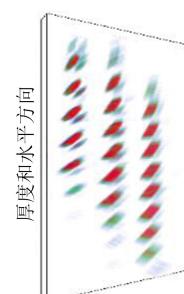
以一个频率为2.5 MHz,晶片数量为 8×8 的面阵探头为例进行说明。在设定的目标区范围内,当幅值降低6 dB时,中心声束向外扩散约20°,而一个普通双晶聚焦探头的-6 dB声束扩散角约为2~4°。双晶探头和全聚焦相控阵探头的波幅变化如图3所示,有效声束覆盖范围如图4所示。



(a) 双晶探头



(b) 全聚焦相控阵探头截面方向



(c) 全聚焦相控阵探头厚度和水平方向

图 3 双晶探头和全聚焦相控阵探头的波幅变化

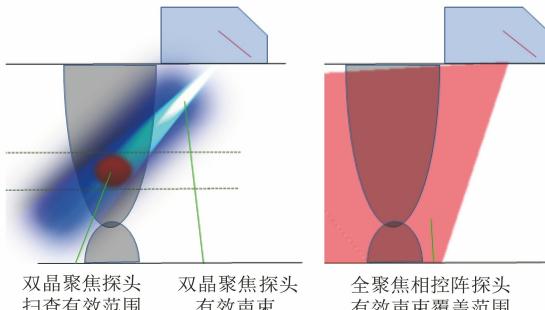


图 4 双晶聚焦探头和全聚焦相控阵探头的有效声束覆盖范围示意

4 检测结果对比分析

采用全聚焦相控阵技术,选用频率为2.5 MHz,单个阵元尺寸为3 mm,数量为 8×8 的二维面阵探头对试块进行检测。探头中心距为25 mm,检测覆盖焊缝中心至熔合线的人工缺陷。焊缝中心缺陷的全聚焦相控阵检测结果如图5所示。焊缝熔合线处缺陷的全聚焦相控阵检测结果如图6所示。

由图5,6可以看出,检测图像信噪比较好,但近

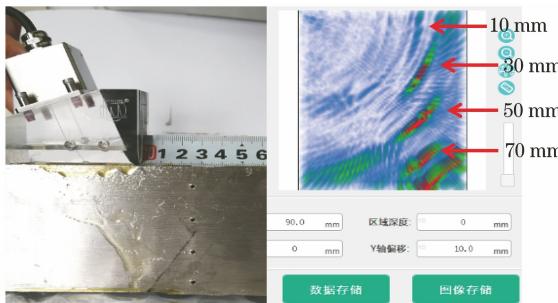


图 5 焊缝中心缺陷的全聚焦相控阵检测结果

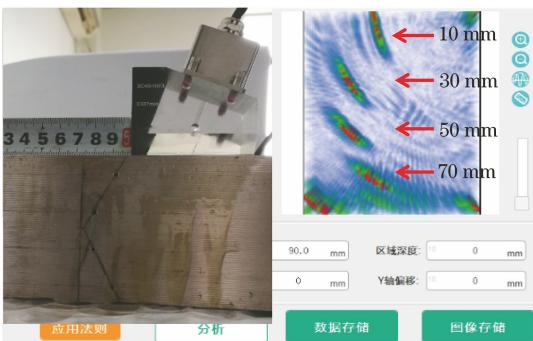


图 6 焊缝熔合线处缺陷的全聚焦相控阵检测结果

表面区域的检测灵敏度不足。为了补偿近表面的检测灵敏度,缩小探头中心距,再增加一次扫查,当中心距为—10 mm 时,近表面 5 mm 的缺陷能够清晰显示在目标区中(见图 7)。

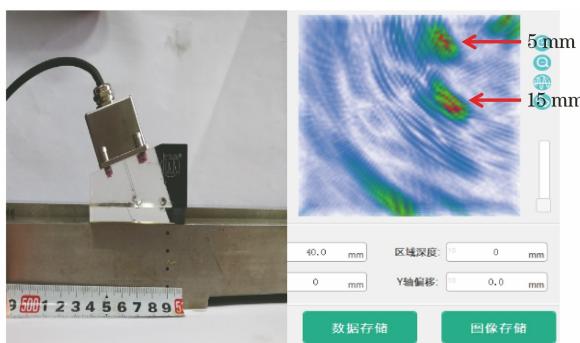
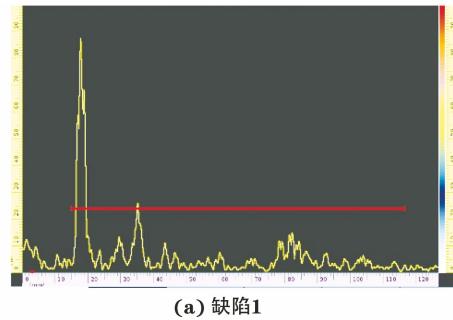


图 7 近表面人工缺陷显示

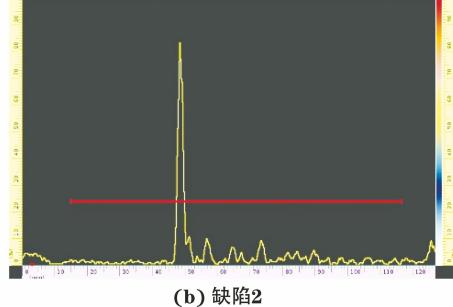
由以上结果可以看出,采用全聚焦相控阵技术对厚为 80 mm 的奥氏体焊缝试块进行检测时,需要以一定的中心距在焊缝单面双侧进行扫查,同时减小中心距再进行补充扫查,补充近表面检测,即可完成对焊缝的全覆盖检测。

选用频率为 2 MHz 的双晶聚焦探头对试块进行检测,检测结果如图 8 所示。由图 8 可见,回波信号信噪比较好。

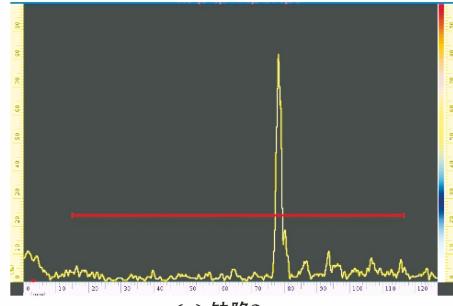
使用双晶聚焦探头对焊缝进行多次可记录的沿线扫查,由于双晶聚焦探头的声束覆盖范围小,所以工艺制作时需要根据反射体选择不同的中心距,试验选择的几组中心距如下所述,检测结果如图 9~



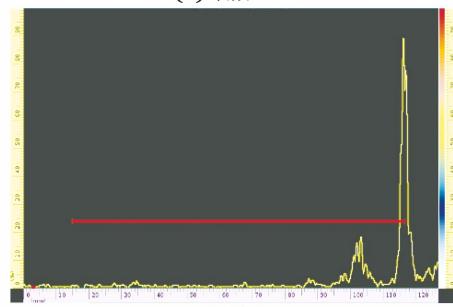
(a) 缺陷1



(b) 缺陷2



(c) 缺陷3



(d) 缺陷4

图 8 试块缺陷双晶聚焦探头的 A 扫描结果

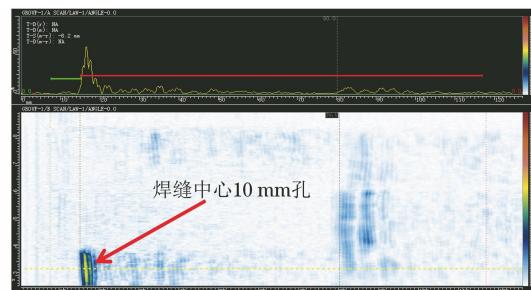


图 9 第一组中心距双晶探头的检测结果

13 所示。

(1) 第一组: 中心距为—8 mm, 覆盖深度为 0~20 mm。

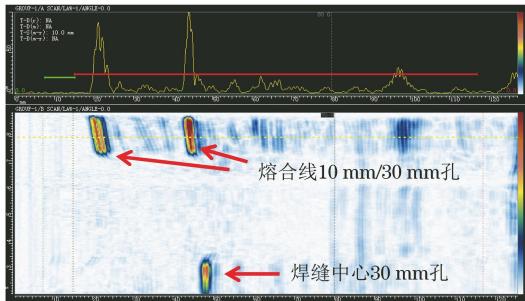


图 10 第二组中心距双晶探头的检测结果

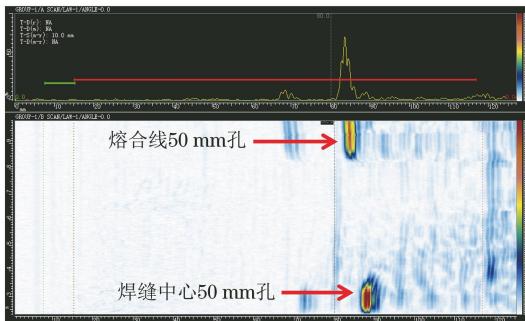


图 11 第三组中心距双晶探头的检测结果

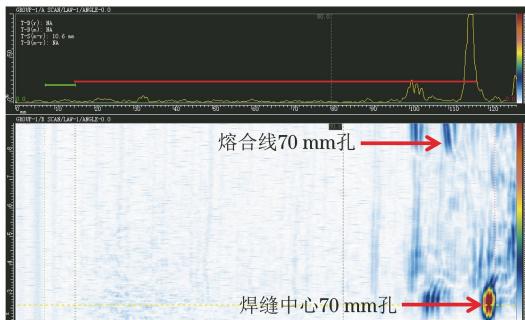


图 12 第四组中心距双晶探头的检测结果

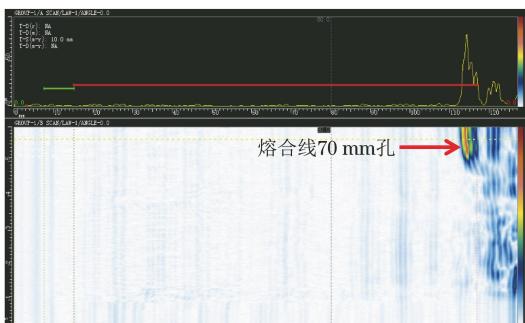


图 13 第五组中心距双晶探头的检测结果

(2) 第二组: 中心距为 10 mm, 覆盖深度为 20~40 mm。

(3) 第三组: 中心距为 30 mm, 覆盖深度为 40~60 mm。

(4) 第四组: 中心距为 49 mm, 覆盖深度为 60~80 mm。

(5) 第五组: 中心距为 65 mm, 覆盖位置为底部焊缝熔合线及热影响区。

通过以上结果可以看出, 双晶聚焦纵波超声检测能够发现人工对比试块中的所有缺陷, 但其声束覆盖范围小, 若要同时达到厚度方向和焊缝宽度方向的检测覆盖, 只能通过增加扫查次数的方法来实现。

两种方法各有利弊, 若结合全聚焦相控阵声束覆盖范围大, 信噪比高的特点, 可以快速对焊缝进行检测, 提高检测效率, 同时若兼顾双晶聚焦纵波超声指向性好, 可对缺陷准确定位定量的特点, 则能够达到更好的检测效果。

5 结语

(1) 全聚焦相控阵技术和双晶聚焦纵波斜探头技术都能检出奥氏体不锈钢试块上的横孔, 检测灵敏度和信噪比能达到相关标准要求。

(2) 全聚焦相控阵技术检测覆盖范围大, 缺陷显示直观, 而双晶聚焦纵波斜探头的有效检测范围小, 易导致缺陷漏检, 因此必须增加扫查次数。

(3) 为保证检测可靠性, 需同时采用两种技术进行检测。

参考文献:

- [1] 强天鹏, 杨贵德, 杜南开, 等. 全聚焦相控阵技术的场测量研究[J]. 无损检测, 2020, 42(2): 1~6.
- [2] 强天鹏, 杨贵德, 杜南开, 等. 全聚焦相控阵技术声场特性初探[J]. 无损检测, 2020, 42(1): 1~6.

欢迎网上投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告