

基于双面阵探头的厚壁奥氏体不锈钢对接焊缝的相控阵超声检测

张子健¹, 许 波², 柴军辉^{1,2}, 沈建民², 吴家喜¹, 胡 健¹

(1. 宁波市劳动安全技术服务有限公司,宁波 315048;2. 宁波市特种设备检验研究院,宁波 315048)

摘要: 焊缝奥氏体组织具有晶粒粗大和各向异性等特点,线阵相控阵、常规超声和射线检测技术均存在一定的局限性和不足。基于 DMA(双面阵)相控阵探头,采用以色列 ISONIC 2009 型相控阵检测仪器,对 NB/T 47013.3—2015 附录 I 中的 3 号对比试块进行了 B 扫和 C 扫成像,并对 40 mm 厚的模拟试块进行了检测比对分析,结果表明,基于 DMA 探头的相控阵超声检测方法在厚壁奥氏体对接焊缝的检测中具有较高的可行性,可以用于实际检测中。

关键词: 厚壁对接焊缝; 奥氏体不锈钢; DMA 探头; 相控阵超声

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号:1000-6656(2021)02-0033-04

Phased array ultrasonic detection of thick walled austenitic stainless steel butt weld based on DMA probe

ZHANG Zijian¹, XU Bo², CHAI Junhui^{1,2}, SHEN Jianmin², WU Jiaxi¹, HU Jian¹

(1. Ningbo Labor Safety and Technology Services Co., Ltd., Ningbo 315048, China;

2. Ningbo Special Equipment Inspection and Research Institute, Ningbo 315048, China)

Abstract: The austenite structure of weld is characteristics of coarse grain and anisotropy. There are some limitations and deficiencies in linear array phased array, conventional ultrasonic and radiographic testing technology. Based on DMA (dual matrix array) phased array probe and using Israel ISONIC 2009 phased array detector, with NB/T 47013.3—2015 appendix I No.3 reference block being for B-scan and C-scan imaging, test result for 40 mm thick simulation test block were compared and analyzed. The results show that the ultrasonic phased array detection method based on DMA probe has high feasibility in thick walled austeniticed butt weld inspection, and can be used in practical inspection.

Key words: thick wall butt weld; austenitic stainless steel; DMA probe; phased array ultrasonic

加氢裂化装置中的反应器是石油炼化企业的核心设备之一,其进出口压力管道的材料通常为奥氏体不锈钢,厚度通常为 40~60 mm。针对这一类规格的管道,标准 NB/T 47013.3—2015 给出了相应的检测方法,探头一般采用双晶纵波斜探头、聚焦纵波斜探头或窄脉冲纵波单晶斜探头,频率一般选取

为 1 MHz~5 MHz,探头角度为 45°。这种常规的超声检测方法在实际应用时存在一定的局限性,例如信噪比低,缺陷识别率低、定量定位不准确等^[1]。此外,对厚壁结构还需进行分层扫查,不仅检测效率低,且为了提高信噪比需要降低检测频率,进而导致分辨力下降。笔者采用基于 DMA(双面阵)探头的相控阵超声检测方法,通过对对比试块和模拟试块进行检测验证,证明了基于 DMA 探头的相控阵超声检测方法在奥氏体不锈钢厚壁对接焊缝检测中具有较高的可行性,可为这一类厚壁承压设备的无损检测提供有力的技术支撑,为后续缺陷的定量定级提供有力的保障。

收稿日期:2020-11-04

基金项目:浙江省质监系统质量技术基础建设项目(20180119)

作者简介:张子健(1989—),男,硕士,工程师,主要从事承压类特种设备的无损检测研究工作

通信作者:张子健,zhangzj@nbanji.com

1 厚壁奥氏体不锈钢对接焊缝的检测难点

奥氏体不锈钢对接焊缝的组织结构与普通碳钢的具有明显差别, 其焊缝在凝固过程中不产生相变, 冷却至常温后仍为奥氏体组织。奥氏体不锈钢焊缝具有热膨胀系数小、散热效果差、晶粒易长大等特点, 这些特点决定了其具有粗大的柱状晶组织^[2]。此外, 对厚壁结构采用多层多道的焊接工艺时, 会产生晶界的不连续, 其次奥氏体不锈钢晶粒具有弹性各向异性的特点, 厚壁结构会加强弹性各向异性的特征, 使得超声波在传播过程中产生严重散射、波型转换、衰减增大、波束偏移等现象, 使常规超声检测在奥氏体不锈钢厚壁结构中的应用存在较大困难。射线检测对危害性较大的裂纹、未熔合等面积型缺陷不敏感, 且随着壁厚的增加, 透照厚度过大, 会增大缺陷的漏检率, 给设备的安全运行带来隐患^[3-4]。

针对粗晶材料的相控阵超声检测, TRL(双晶纵波)相控阵检测技术具有一定的优势, 已广泛地应用于核电工业领域。其中 DMA 探头是属于 TRL 系列中的二维矩阵相控阵探头, 其将两个低频探头安装在用隔声层隔开的检测楔块上, 可避免楔块之间产生声场串扰, 大幅改善声束的穿透能力和信噪比, 该探头的主要特点有: 采用低频纵波、一发一收模式; 覆盖范围大、成像效果好、信噪比高^[5]。

2 对比试块验证

2.1 检测对象

检测对象为 NB/T 47013.3—2015 附录 I 中的 3 号对比试块, 该试块材料为奥氏体不锈钢, 厚度为 80 mm, 设置有 2 组长横孔缺陷, 分别为焊缝中心横孔和熔合区横孔, 共 8 个, 试块尺寸如图 1 所示。

2.2 检测工艺

采用以色列 ISONIC 2009 型相控阵检测仪器, 探头为 Sonotron NDT 2003098 型双面阵相控阵纵波探头, 该探头的主要参数有: 检测频率为 2.0 MHz; 折射中心角度为 55°; 晶片数量为 4×8×2 个, 单个晶片尺寸为 3.8 mm×4 mm(长×宽), 探头结构如图 2 所示。

扫查方式为沿线扫查与扇形扫查结合; 记录模式为编码器模式, 编码器步进为 0.5 mm; 扇扫范围为 28°~86°, 角度步进为 1°; 聚焦深度为 60 mm; 声速为 5 790 m·s⁻¹; 评定线灵敏度为 φ2 mm×40 mm(直径×长度, 下同)−8 dB, 扫查灵敏度为 φ2 mm×40 mm−14 dB; 检测面为单面双侧, 扫查速度不大

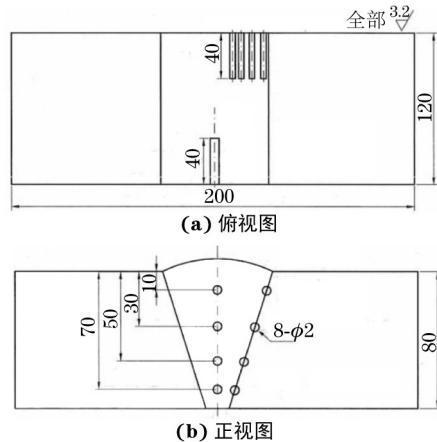


图 1 奥氏体不锈钢试块尺寸示意

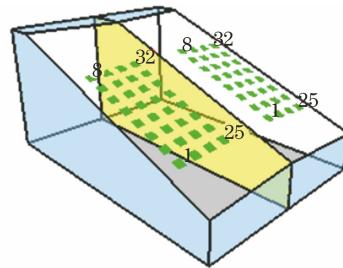


图 2 DMA 探头结构示意

于 30 mm·s⁻¹, 耦合补偿为 3 dB。

2.3 结果分析

采用上述检测工艺分别进行 B 扫、C 扫和三维成像(见图 3), 并对成像结果进行分析。缺陷参数的测量结果与实际值如表 1 所示。

表 1 缺陷参数的测量结果与实际值 mm

缺陷编号	测量结果		实际值	
	深度	长度	深度	长度
焊缝中心 1#	9.7	28.8	10	40
焊缝中心 2#	31.4	37.3	30	40
焊缝中心 3#	54.1	36.7	50	40
焊缝中心 4#	75.3	36.7	70	40
熔合线 1#	—	38.0	10	40
熔合线 2#	30.3	38.0	30	40
熔合线 3#	53.0	38.0	50	40
熔合线 4#	75.0	38.0	70	40

从图 3 可以看出, 采用 DMA 纵波探头检测的图像具有较高的信噪比, 缺陷信号清晰可见, 杂波信号较少, 值得注意的是, 由于扇扫角度为 28°~86°, 且采用单面双侧的扫查工艺, 所以上表面存在一定的盲区, 焊缝中心 1# 和熔合线 1# 缺陷的测量不准确, 需要采用双面双侧扫查进行全覆盖检测。基于相控阵的扇扫检测原理, 预埋深度越大的缺陷, 检测结果的深度误差会越大, 但对缺陷长度测量的影响

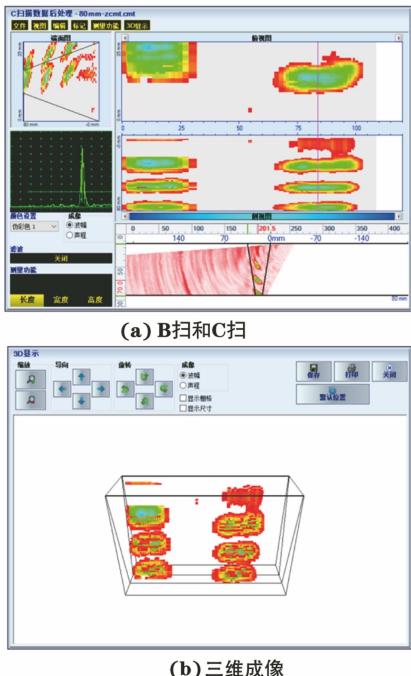


图 3 B 扫、C 扫和三维成像结果(对比试块)

不大。

3 模拟试块验证

3.1 检测对象

检测对象为 40 mm 厚奥氏体不锈钢对接焊缝模拟试块, 尺寸为 400 mm × 300 mm × 40 mm (长×宽×高), 焊缝坡口为 X 型, 焊接方法为氩弧焊+手工电弧焊, 预制有夹渣、未熔合、纵向裂纹等缺陷。

3.2 检测参数

分别采用上述 DMA 探头和常规 16 晶片线阵探头进行扫查。16 晶片线阵探头频率为 4 MHz; 晶片尺寸为 10 mm × 0.4 mm (长×宽); 检测模式为横波自发自收; 折射中心角度为 36°; 扇扫范围为 36°~75°。

3.3 结果分析

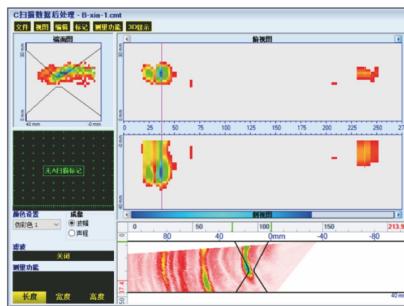
3.3.1 DMA 探头检测结果

扫查面为双面双侧, 采用拉线式编码器进行记录, 对缺陷的长度、深度和高度进行测量, 并与射线检测(RT)的结果进行比对分析, 验证 DMA 纵波探头检测结果的可靠性。DMA 探头与射线检测对缺陷参数的测量结果如表 2 所示(表中长度与缺陷埋深为 DMA 探头的测量结果)。DMA 检测模拟试块不同缺陷的成像结果如图 4 所示。

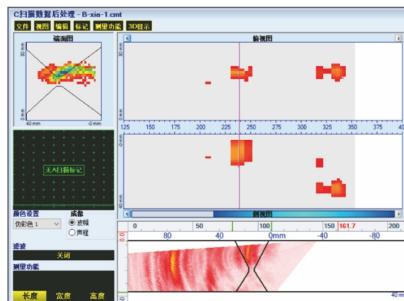
从图 4 可以看出, 采用 DMA 相控阵探头检测得到的图谱具有高信噪比, 除了缺陷成像外, 没有其

表 2 DMA 探头与射线检测对缺陷参数的
测量结果(A 面检测) mm

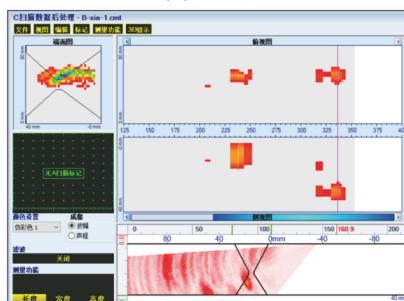
缺陷性质	长度	RT 测量长度	缺陷埋深	缺陷实际埋深
夹渣	31	31	18	16
未熔合	21	20	28	12
纵向裂纹	29	30	23	13



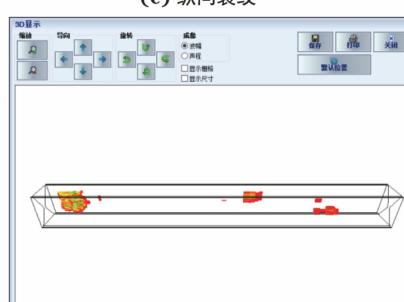
(a) 夹渣



(b) 未熔合



(c) 纵向裂纹



(d) 三维成像

图 4 DMA 检测模拟试块不同缺陷的成像结果
他奥氏体晶粒的杂波信号, 3 个缺陷清晰可见, 不会出现漏检或误判的情况, 对现场奥氏体不锈钢厚壁承压设备的检测具有较高的可行性。从表 2 可以看出, 采用 DMA 相控阵探头检测得到的缺陷长度具

有较高的准确性,与射线检测结果较一致,对于深度与高度的测量,由于具有较高信噪比,所以测量结果也较为准确,可为后续的缺陷评价提供数据支撑,具有较高的可靠性。

3.3.2 16 晶片线阵探头检测结果

16 晶片线阵探头检测模拟试块不同缺陷的成像结果如 5 所示,其与射线检测对缺陷参数的测量结果如表 3 所示(其中长度与缺陷埋深为 16 晶片线阵探头的测量结果)。

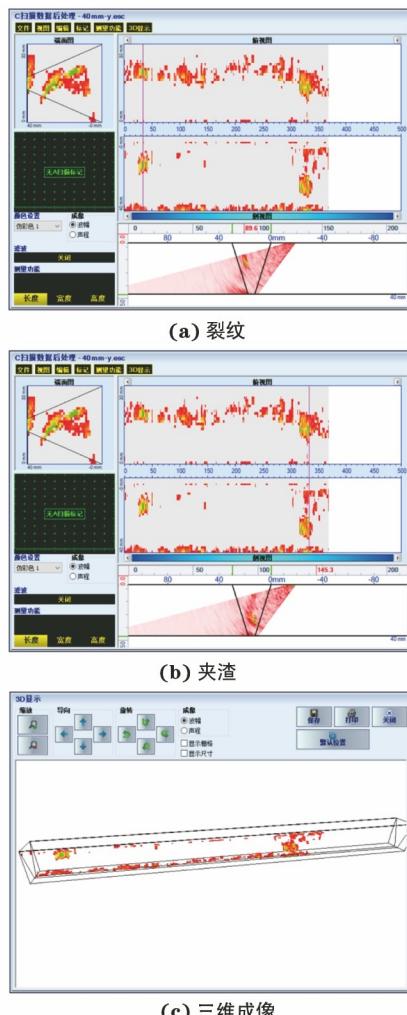


图 5 16 晶片线阵探头检测模拟试块不同缺陷的成像结果

表 3 16 晶片线阵探头与射线检测对缺陷参数的
测量结果

缺陷性质	长度	RT 测量		缺陷实际 mm	
		长度	埋深	埋深	埋深
夹渣	22	31	22	10	
纵向裂纹	25	30	9	11	

从图 5 和表 3 可以看出,16 晶片线阵探头检测厚壁奥氏体不锈钢对接焊缝得到的图像信噪比较低,杂波较多,且存在危害性缺陷(未熔合)漏检的情况,与双面阵探头相比具有明显的差距,且在缺陷定量方面,精确度也没有双面阵探头的高。

4 结语

针对常规超声和射线检测对厚壁奥氏体不锈钢承压设备对接焊缝检测存在的难点,采用基于 DMA 探头的相控阵超声检测技术,分别对 80 mm 厚奥氏体不锈钢对比试块和 40 mm 厚模拟试块进行了检测,结果表明,基于 DMA 探头的相控阵超声检测技术可获得较高信噪比的图像和较低的缺陷检出率,能在一定程度上解决厚壁奥氏体不锈钢对接焊缝检测的难题,具有较高的工程应用价值。

参考文献:

- [1] 刘贵吉,李江,甘志云,等.基于 TRL 探头的双相不锈钢对接焊缝的超声相控阵检测[J].无损检测,2018,40(1): 65-68.
- [2] 张侃. AP1000 主管道奥氏体不锈钢焊缝超声检测建模仿真研究[D]. 大连:大连理工大学, 2016.
- [3] 林莉,杨平华,张东辉,等.厚壁铸造奥氏体不锈钢管道焊缝超声相控阵检测技术概述[J].机械工程学报,2012,48(4): 12-20.
- [4] 牟彦春,朱晓智,金南辉.超声相控阵检测技术在电站锅炉厚壁管道检测中的应用[J].无损检测,2014,36(9): 59-61.
- [5] 卢威,聂勇,许远欢,等.宽频带窄脉冲 TRL 探头在奥氏体不锈钢焊缝超声检测中的优越性[J].无损检测,2013,35(6): 77-80.

欢迎网上投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告