

奥氏体不锈钢焊缝的相控阵超声检测

吴锋

(广东华泰检测科技有限公司)

摘要: 奥氏体不锈钢以其优良的抗腐蚀性、抗氧化性以及低温韧性等良好的综合性能被广泛应用于石油化工、煤化工等领域的工艺管道中,如炼油装置的渣油加氢装置的奥氏体不锈钢管道。由于不奥氏体不锈钢焊缝热裂纹敏感性,需要应用超声检测技术进行分析和评定,但是焊接中其组织的晶粒组织粗大、柱状晶粒且各向异性、与母材存在异质界面等显著特征,将导致超声波入射声束的散射和畸变,使该技术的有效应用变得比较困难。相控阵超声检测因其能对声束精控聚焦、重复性好、适合复杂工件,以及能实时成像等的优异特性,大量应用于工业无损检测领域。本文特对奥氏体不锈钢焊缝的相控阵超声检测进行影响分析研究。

关键字: 奥氏体不锈钢; 焊缝检测; 相控阵; 信噪比

一、相控阵超声检测技术的原理及特性

(1)相控阵超声检测技术主要是对压电复合材料的脉冲信号精准延迟控制,使用电子控制技术使声束偏转,合成新的波阵面,聚焦(见图1)于不同深度,可以用一个探头,完成对不同深度和材料的检测任务,性能优于常规手工超声检测技术需要前后移动探头或更换不同角值探头才能完成焊缝全覆盖检测,克服了自动超声检测系统调整困难,探头卡环适应性差的缺点。由于电子控制技术、数据处理分析技术、计算机仿真技术的发展成熟,使相控阵超声检测技术应用得到了快速推进。

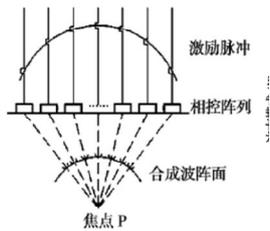


图1 相控阵聚焦原理图

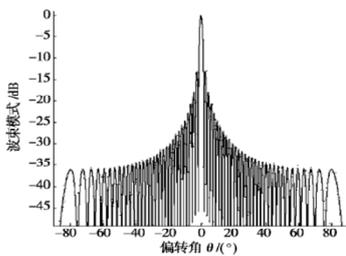


图2 相控阵探头阵列(64阵元)波束模型

(2)图2从图中可以看出,主瓣越高越窄,旁瓣越低,阵元越多,声束偏转角越小,能量越集中,指向性和分辨率越高,对检测是有利的。但是,实际中相控阵各因素存在着制约关系,由于检测面限制无法一味增加阵元,频率增加会使衰减增大,散射更严重,这些都会带来相反的结果,综合以上分析,相控阵探头阵列(64阵元)系统具有良好的指向性,是不锈钢检测应用综合性能最优的探头阵列。

二、奥氏体不锈钢焊缝焊接特点

(1)奥氏体钢和铁素体钢焊接接头相比,其焊缝组织有较多的区别,奥氏体焊缝凝固时未发生相变,室温下以铸态奥

氏体晶粒存在,这种焊缝组织一般具有晶粒粗大、柱状晶粒且各向异性、熔合面处组织与母材存在明显的异质界面的特性,奥氏体焊缝组织的柱状晶粒尺寸和取向受到焊接工艺、焊接规范的影响大,不同的焊接方法(如手工焊、自动埋弧焊、气体保护焊),凝固时的热流状态、都会影响柱状晶粒结构和方向,最终可能形成各向同性等轴晶粒结构或各向异性的柱状晶粒结构。

(2)奥氏体不锈钢焊缝如果含有P、S杂质,焊接工艺控制不良,镍与P、S杂质形成低熔点化合物或共晶,以及硅、硼元素偏析等,将促使出现结晶热裂纹。而在役管道大多接触含湿H₂S、临氢的强腐蚀环境,焊缝热影响区容易出现晶间腐蚀、应力腐蚀、疲劳裂纹,脆化等缺陷。

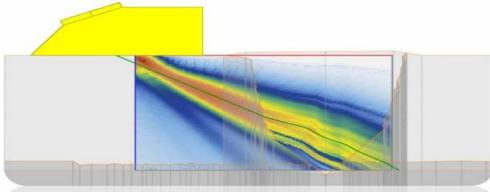
三、奥氏体组织对超声检测的影响分析及相控阵超声检测的应用优势

奥氏体不锈钢的粗大晶粒和柱状各向异性晶粒结构对超声检测的影响如下:

(1)一是会引起超声波在传播的过程中产生较大的衰减和散射,晶粒直径超过半个波长时,超声声束发散严重,引起很高的噪声在示波屏上显示为杂乱的草状回波,使有效信号淹没无法识别,由于横波相较纵波频率高、波长短,横波超声检测时尤其,会使信噪比大大降低,造成检测无法实施,这就需要使用波长更长的较低频率纵波斜入射检测技术,匹配相控阵DMA双晶阵列探头,可减少晶粒散射的影响,有效提高信噪比。

(2)二是由于声能衰减和声速受波束方向和晶粒界面反射影响,对纵波来说一般扭曲角在15°~20°,而对于水平极化横波扭曲角达50°,由此可将,横波检测会引起定位误差较大,焊缝中心区域因各向异性更严重,应避免通过焊缝中心的声束对缺陷进行定量评定。而采用纵波倾斜直射法检测,有利于提供缺陷定位精度,减少波形转换变形波识别难度,也能避免因纵波多次反射能量太小使信号难以分析的缺点。

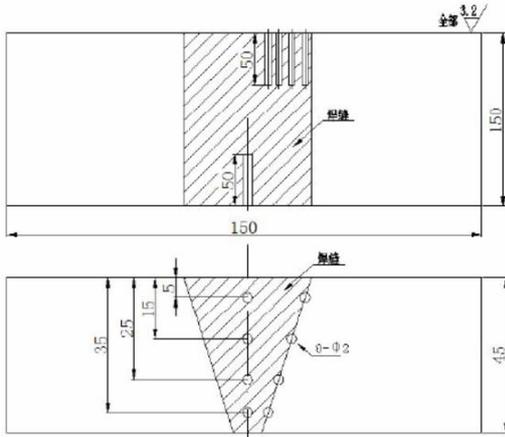
(3)三是超声波束在奥氏体不锈钢焊缝熔合面由于与母材金属界面的显著差别会产生折射、反射及多次波形转换,从而产生假缺陷信号,并且晶粒间的界面也同样产生以上情况,且回波脉冲宽度越大,该现象越严重。所以,应采用窄脉冲相控阵阵列探头有助于减少以上现象。



图：超声波声场模拟图

四、探头及系统设置对相控阵超声检测不锈钢焊缝的影响

4.1.试块的选择：可以根据工件厚度选择合适的试块，一般要求对比试块应包括对接焊接接头。对比试块的材料、几何形状、焊接工艺等应与被检工件相同。

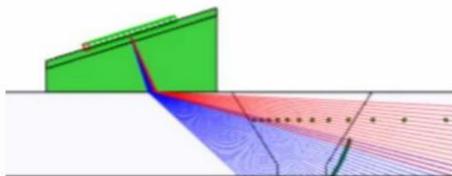


图：对比试块适用于工件厚度范围为 20mm~40mm

4.2.检测系统匹配及设置

(1)推荐采用 1~5MHz 纵波相控阵 DMA 双晶阵列探头，尽量选择较低频率，以提高信噪比。由于选用纵波进行检测，为减少钢中近场区长度，须匹配较大些的楔块，故有些检测位置就受到限制。另外为减少能量的损失，以及波形转换的困扰，尽量选择声波直射法，增加定位精度。

(2)根据检测厚度设定相应的聚焦法则，一般聚焦深度设为 $2/3t$ 。厚度较厚时，可分区扫查，各分区范围应相互覆盖不低于 15%，上部扫查推荐将聚焦深度设为 $1/2t$ ，以提高信噪比，增加聚焦能力和检测灵敏度，利于近表面小缺陷检出。



图：聚焦设置示意图

(3)灵敏度设置：一般采用 TCG 或 DAC 两种方法。

(4)扫查灵敏度确定：应使检测范围内最大声程处反射体回波高度达到 20%以上，信噪比应达到 2:1。声束通过母材和通过焊接接头分别测绘的两条距离-波幅曲线间距一般宜小于 10dB。

4.3.检测面要求

(1)检测区域选择焊缝本身及两侧各 10mm 或如有实际

焊接参数也可取实际热影响区。

(2)为了减少声波在表面多次反射，通过复杂路径形成的变形波被探头接收，增加分析难度，一般将奥氏体不锈钢上表面磨平，也便于横向检测和更好覆盖焊缝。

(3)探头偏离中心距 (S) 设置因影响到缺陷偏离焊缝中心的距离，甚至是否为焊接缺陷的判断，故应提前在工件上规划含探头经过的路径，推荐采用专用滑轨，能有效避免偏离规划路径，为以后的缺陷评定带来困扰。

4.4.耦合剂

(1)奥氏体不锈钢对接焊接接头超声检测过程中应选用透声性好的耦合剂，如声阻抗较大的甘油等，在零度以下可采用乙醇液体或相近的液体。

(2)此外，一般要求耦合剂应对被检工件无害，奥氏体不锈钢材质应无卤素。

4.5.灵敏度复核

(1)每次检测结束前，应对扫查灵敏度进行复核。一般对 DAC 或 TCG 曲线的校核应不少于 3 点。

(2)如曲线上任何一点幅度下降 2dB 或 20%，则应对上一次复核以来所有的检测结果进行复检；如幅度上升 2dB 或 20%，则应对所有的记录信号进行重新评定。

五、小结

(1)探头距离焊缝偏心距 S 的设置至关重要，可能是导致检测成败的关键因素之一。

(2)奥氏体不锈钢焊缝相控阵超声检测技术的应用，相比常规超声检测技术获得了更高的信噪比，使发现小缺陷的能力得到了保证。

(3)相控阵超声检测能够在不移动探头的情况下，在较大的角度范围内进行检测，大幅提高了检测效率。

(4)聚焦法则的设置，直接影响检测结果的有效性，应在优化过程中不断在对比试块上验证实践，评价有效后在现场检测，确保检测结果的有效性。

(5)虽然，相控阵超声检测奥氏体不锈钢有诸多优势，但是，该技术应用原理及实践还在探索阶段，还需要无损检测同仁的不懈努力提高。

参考文献：

[1]李佳文，王明明，郭志成，新时代，培养基层不锈钢焊缝超声检测建设工程人才的变革[M]北京：北京科学技术出版社 2004.27-28

[2]曾建国，王惠续，李郭勇，多种不锈钢焊缝相控阵超声检测手段中人文素养的应用[J]中国工业经济，2007.(1) 38-42

[3]张耀文，陈建军，张璐亚，知识经济时代基层不锈钢焊缝相控阵超声检测建设项目中创意型人才培养的内容及应用[M]中外管理导报。2007.(3) 57-69

[4]胡栋，王强，肖琨，刘富君 奥氏体不锈钢焊缝的相控阵超声检测 河南科技大学学报：自然科学版 第 34 卷第 1 期 2013 年 2 月 文章编号:1672-6871(2013)01-0008-04

[5]郑晖，林树青主编 《超声检测》第 2 版 2009 年 3 月第 3 次印刷