

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

卢 威, 聂 勇, 许远欢, 尹 鹏

(中核武汉核电运行技术股份有限公司, 武汉 430223)

摘 要: 由于奥氏体不锈钢焊缝具有晶粒粗大、各向异性的特性, 因此在超声波传播过程中出现了波束转向, 散射严重, 声能严重衰减等现象, 所以采用常规超声探头对这类焊缝进行超声检测存在信噪比和定量精度较低等困难。而宽频带窄脉冲一发一收(TRL)式双晶纵波探头, 可以较好地克服这些困难。以 $\phi 273 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ 奥氏体不锈钢管道焊缝为例, 验证宽频带窄脉冲 TRL 探头在奥氏体不锈钢焊缝超声检测中的优越性。

关键词: 奥氏体不锈钢; 焊缝; 宽频带; 窄脉冲; TRL 探头; 超声检测

中图分类号: TG115.28

文献标志码: B

文章编号: 1000-6656(2013)06-0077-04

The Advantage of Using Broad Bandwidth and Narrow Pulse TRL Probe for Ultrasonic Inspection of Austenitic Stainless Steel Welds

LU Wei, NIE Yong, XU Yuan-Huan, YIN Peng

(China Nuclear Power Operation Technology Corporation Ltd, Wuhan 430223, China)

Abstract: In austenitic stainless steel welds, the grain structure is coarse and anisotropic. When ultrasonic beam propagate in such structure, following phenomena encounter: beam deviation, serious scattering, high attenuation. So if the conventional ultrasonic probes be used, it is difficult for detecting and sizing flaws in austenitic stainless steel welds because of low signal-to noise ratio. But broad bandwidth and narrow pulse Transmitter/Receiver side-by-side L waves probe (TRL probe) can overcome these difficulties. This article will introduce the benefits of TRL probe when it be used in austenitic stainless steel welds inspection. As a validation example, the $\phi 273 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ austenitic stainless steel pipe weld is used in this article.

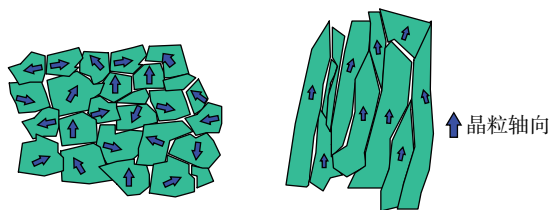
Keywords: Austenitic stainless steel; Welds; Broad bandwidth; Narrow pulse; TRL Probe; Ultrasonic testing

奥氏体不锈钢焊缝中, 奥氏体粗大柱状晶粒结构使得超声波在传播过程中产生较大的衰减和散射, 同时还造成声束和衰减的各向异性以及声束的偏转^[1], 引起较高的本底噪声(林状波), 使信噪比大幅度下降, 因此采用常规超声探头对此类焊缝进行超声检测存在较大的难度。

1 奥氏体不锈钢焊缝的超声波传播特性

奥氏体不锈钢焊缝中, 晶粒成长与各向同性的均匀晶粒(图 1(a))不同, 一般沿着与焊接等温线垂

直方向成长并形成粗大柱状晶如图 1(b)。柱状晶组织具有非均匀性和各向异性的特点, 所以超声波在这类晶粒组织中的传播具有以下几种特性^[1]:



(a) 均匀晶粒, 各向同性

(b) 柱状晶, 各向异性

图 1 各向同性和各向异性

1.1 声速的各向异性

奥氏体不锈钢焊缝中弹性模量的各向异性会造成

收稿日期: 2012-08-01

作者简介: 卢威(1977—), 男, 高级工程师, 主要从事核电站设备无损检测工程技术服务与方法研究工作。

成超声波传播速度的各向异性,声波速度随声束方向与柱状晶成长方向夹角的变化而变化^[1]。不同类型声波在奥氏体不锈钢焊缝中传播速度的各向异性如图 2 所示。

1.2 衰减的各向异性

奥氏体不锈钢焊缝中,超声波的衰减也呈各向异性,也随声束方向与柱状晶成长方向夹角的变化而变化^[1]。图 3 是在奥氏体不锈钢焊缝中,两种不同频率纵波测出的衰减各向异性的结果。

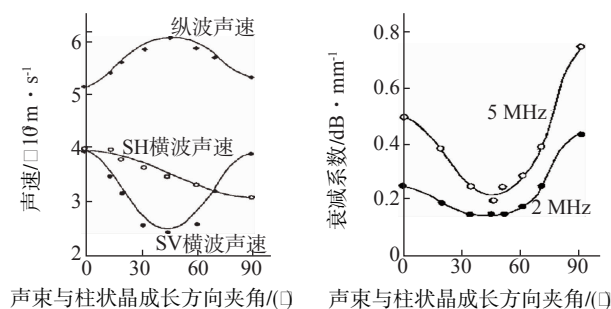


图 2 奥氏体不锈钢焊缝中声速的各向异性

图 3 奥氏体不锈钢焊缝中纵波衰减各向异性

1.3 声束的偏转

超声波在奥氏体不锈钢焊缝中传播时,波阵面一般不与声束传播方向相垂直,声束传播方向与波阵面垂线方向的夹角称为声束偏转角。有研究表明,纵波比横波的波束偏转角度要小,当纵波声束与柱状晶成长方向的夹角为 45° 左右时,声束的偏转角最小^[1]。

1.4 林状波

由于奥氏体不锈钢焊缝中晶粒十分粗大,柱状晶粒轴向上的长度有时远远超过超声波的波长,因此当超声波入射到这些粗大晶粒上时,将会产生很强烈的散乱反射,被散射的超声波沿着复杂的路径传播回探头,在显示屏上引起林状回波(又称为草状回波),使得信噪比下降,严重时噪声信号会湮没缺陷信号。

2 超声检测中探头的选用

奥氏体不锈钢焊缝的超声检测在选用超声探头和提高检测性能方面,应考虑如下几点:

(1) 选用频率较低的超声波探头,以减小声束的散射和衰减,增加超声波的穿透能力。

(2) 一般优先考虑使用纵波(LW)探头,因为对于粗晶材料而言,在同样的声束与晶粒成长方向夹角条件下,纵波比横波的波束偏转角度要小,利于缺

陷的准确定量。

(3) 使用宽频带窄脉冲探头,以抑制林状波干扰,提高检测的信噪比和分辨率,利于对缺陷的准确定量^[2]。

(4) 使用一发一收式双晶探头,可以减小干扰信号,提高检测的信噪比^[2]。

(5) 对缺陷的定量优先采用 45° 探头,因为纵波声束与柱状晶成长方向成 45° 左右时,在柱状晶中的偏转角最小^[1]。

目前针对奥氏体不锈钢焊缝超声检测中,被广泛选用的就是宽频带窄脉冲 TRL 探头,如图 4 所示。结合超声理论以及上述声波传播特性分析,选用宽频带窄脉冲 TRL 探头的主要原因是:①相同频率的探头,横波散射比是纵波散射比的 24 倍^[2],纵波比横波的声衰减要小,穿透能力要强。②纵波声束的偏转角比横波声束的偏转角相对要小^[1]。③在声束的聚焦区域可以得到较高的检测灵敏度和信噪比。④避免了由界面或楔块回波造成的杂乱波影响,有效减少了干扰信号。⑤宽频带窄脉冲提高了检测的信噪比和分辨率。

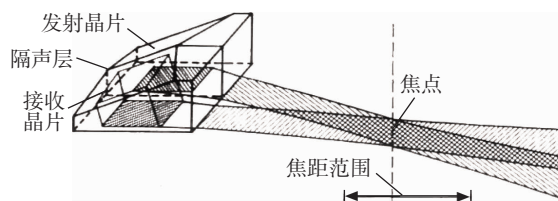


图 4 TRL 探头工作示意图

3 TRL 探头优越性验证

3.1 探头

为了进行对比,除了选用频率 2 MHz 的 45° 宽频带窄脉冲 TRL 探头,还选用了同为 2 MHz 频率的其它型式 45° 探头进行验证试验,探头型号如表 1 所示。

表 1 试验探头

序号	型式	备注	序号	型式	备注
1	双晶纵波	宽频带	3	单晶纵波	—
2	双晶纵波	窄频带	4	单晶横波	—

3.2 试件

试件: $\phi 273 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ 的奥氏体不锈钢管道对接焊缝试件,在焊缝中心线上埋有沿焊缝方向垂直于焊缝表面的模拟裂纹人工缺陷(0.2 mm 宽 EDM

槽),一共设置 10 个缺陷。1#—4# 为外表面开口缺陷,5#—8# 为焊缝内部缺陷,9#—10# 为内表面开口缺陷,如图 5 所示。试件缺陷信息见表 2。

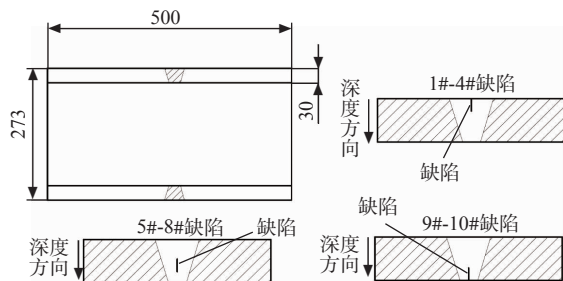


图 5 焊缝截面缺陷位置示意图

表 2 试验试件缺陷信息

编号	长度	高度	深度	编号	长度	高度	深度
1	15	3	0~3	6	20	9	5~14
2	20	9	0~9	7	15	6	5~11
3	15	6	0~6	8	25	15	5~20
4	25	15	0~15	9	15	3	27~30
5	15	3	5~8	10	20	9	21~30

3.3 仪器

使用 CTS—2000 数字型超声波探伤仪。

3.4 缺陷定量技术

3.4.1 缺陷显示自身高度的测量

当发现缺陷显示有端点信号时,则利用该端点信号测量缺陷的自身高度,如图 6 所示。(T=焊缝厚度;H=缺陷高度;h=缺陷端点到探测面垂直距离)

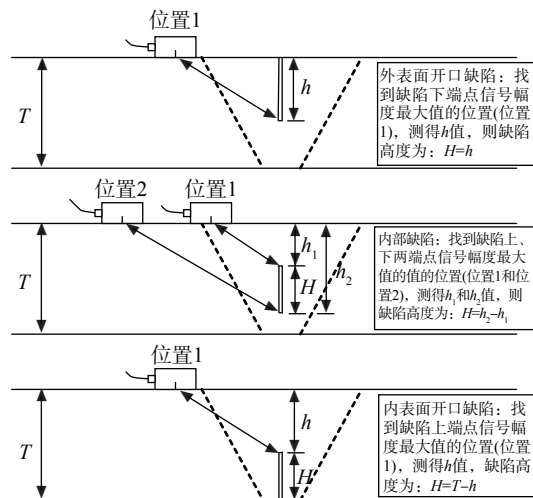


图 6 利用端点信号测高

3.4.2 缺陷显示长度的测量

采用—6 dB 法测长,即采用左右平行移动探

头,使缺陷信号最高幅值降 6 dB 的方法测量缺陷显示的长度。

3.5 试验结果

利用不同类型探头对试件进行检测,根据检测结果对比不同类型探头的缺陷检测能力,包括能否检测出缺陷,缺陷信号信噪比和分辨率。具体对比结果见表 3。

表 3 检测能力对比

探头				检测能力		
角度 / (°)	型式	频率 / MHz	备注	能否检测出缺陷	信号信噪比	信号分辨率
45°	双晶纵波	2	宽频带	能	高	好
45°	双晶纵波	2	窄频带	能	低	差
45°	单晶纵波	2	—	能	低	差
45°	单晶横波	2	—	否	低	—

通过表 3 可以看出:在不锈钢管道焊缝检测中,纵波探头的缺陷检测能力比横波探头要高;宽频带双晶纵波探头的信噪比优于窄频带双晶纵波探头和单晶纵波探头;宽频带双晶纵波探头缺陷信号的分辨能力优于窄频带双晶纵波探头和单晶纵波探头。

使用 45°宽频带窄脉冲 TRL 探头时,所有 10 个缺陷都被检测到,且均能找到端点信号,图 7 为典型的缺陷回波信号图。缺陷信号的最大幅值都在 $\phi 2$ mm 横孔—8 dB 以上,信噪比都在 6 dB 以上。采用上述 3.4 节中的缺陷定量技术进行缺陷自身高度测量和长度测量,测量结果与实际值的对比见表 4。缺陷长度测量偏差的统计见图 8,缺陷自身高度测量偏差的统计见图 9。缺陷长度的测量偏差范围为—3.0~3.0 mm,缺陷自身高度的测量偏差范围为—1.47~1.51 mm。(测量偏差=测量值—实际值)。

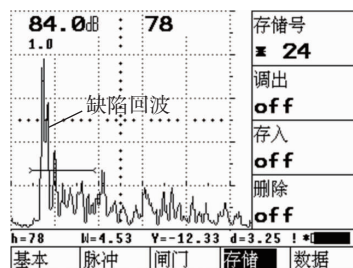


图 7 典型缺陷回波信号图

4 结论

对于厚度为 30 mm 的薄壁奥氏体不锈钢焊缝,45°宽频带窄脉冲 TRL 探头具有较高的探测灵敏度

表 4 测量结果与实际值的对比 mm

缺陷 编号	缺陷长度			缺陷自身高度		
	实际值	测量值	偏差值	实际值	测量值	偏差值
1	15.0	12.0	-3.0	3.0	3.25	0.25
2	20.0	23.0	3.0	9.0	9.28	0.28
3	15.0	18.0	3.0	6.0	6.36	0.36
4	25.0	26.0	1.0	15.0	16.32	1.32
5	15.0	17.0	2.0	3.0	2.54	-0.46
6	20.0	20.0	0	9.0	9.19	0.19
7	15.0	14.0	1.0	6.0	5.54	-0.46
8	25.0	28.0	3.0	15.0	13.53	-1.47
9	15.0	13.0	2.0	3.0	3.94	0.94
10	20.0	20.0	0	9.0	10.51	1.51

和信噪比,能够可靠有效地探测出缺陷并发现缺陷的端点信号,利用缺陷的端点信号进行自身高度测量以及利用-6 dB 法进行长度测量能够达到较为满意的测量精度。不过,对于真实裂纹,特别是闭合紧密的裂纹进行定量测量时,由于其开口宽度很小,其定量偏差将会大于上述试验统计的偏差值。另外,当焊缝厚度较大时,可采用 37°宽频带窄脉冲 TRL 探头进行检测,当焊缝厚度较小时,也可采用 60°宽频带窄脉冲 TRL 探头进行检测。

宽频带窄脉冲 TRL 探头在奥氏体不锈钢焊缝超声检测方面具有较强的优越性,能够有效提高此类粗晶材料的超声检测能力和缺陷定量的准确性。



(上接第 73 页)

足普通企业对铜铸件探伤的要求,又能在条件许可的情况下进一步改善探伤条件。同时也清楚地了解到当选择 2.5 MHz 的直探头探伤时并不只是理论上灵敏度按声速频率与波长之间成线性衰减关系,而是在整个屏幕上几乎看不到底波,基本上都是草状波的不规则反射,所以 2.5 MHz 的探伤频率并不适合轴承用铜铸件的探伤,表 1 中显示了工件厚度为 215 mm 时的探伤对比效果。

3 结论

通过对铜铸件探伤试验的实践,认识到只有不断地实践和总结才能使理论知识很好的运用于生产实践中去。由于探伤试验的结果对本企业的探伤具有一定的指导意义,在某种意义上可以说是解决了铜铸件在大轴承上应用的质量。所以试验的目的得以实现,对企业的探伤工作是个很大的技术推进,这

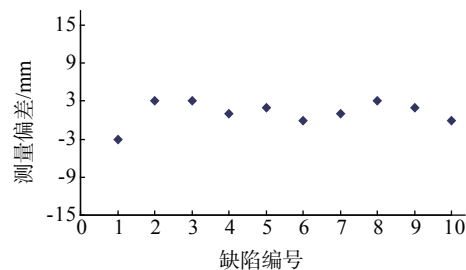


图 8 缺陷长度测量偏差统计

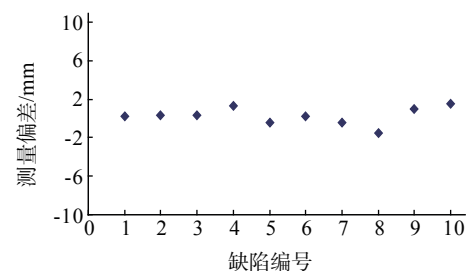


图 9 缺陷自身高度测量偏差统计

对于不同规格,不同厚度的奥氏体不锈钢焊缝,可以通过选用不同频率,不同聚焦范围的探头,以实现对该类焊缝可靠有效的超声检测。

参考文献:

- [1] 李衍,冯兆国. 不锈钢焊缝的超声检测—现状与发展[J]. 无损探伤,2005,29(3):1—6.
- [2] 张鹰吗,张延丰,雷毅. 奥氏体不锈钢焊缝的超声波检测方法研究[J]. 无损检测,2006,28(3):119—122.

表 1 使用不同频率探头的对比效果

直探头 频率	底波幅度达 满屏 80%	底波幅度达满屏 80%, 再增益 24 dB
1 MHz	波形清晰独立,无杂波 干扰	底波波形清晰独立,杂波 干扰约满屏 20%
2.5 MHz	波形清晰独立,杂波干扰 约满屏 40%	杂波干扰很严重几乎满 屏,无法观察底波
5 MHz	无法检测,观察不到底波	无法检测,观察不到底波

将对轴承行业生产过程中的质量控制起到十分重要和关键的作用。

参考文献:

- [1] GB/T7233.1—2009 铸钢件 超声波检测[S].
- [2] GB/T3310—2010 铜及铜合金棒材超声波探伤方法[S].