

小直径棒材超声检测方法研究

胡 智¹ 刘伟成² 彭应秋²

(1. 江西省锅检所 2. 南昌航空工业学院 江西 南昌 330034)

摘 要 本文介绍了用瓦形晶片制作的线聚焦双晶探头,采用水浸法检测直径为 5~16mm 的高温合金钢的方法及原理,并和超声爬波法相比较。实验结果表明,本方法是较为理想的一种,不仅操作简单,而且能满足技术上的要求。

关键词 小直径棒材 线聚焦双晶探头 超声检测法

中图分类号 TB551

文献标识码 A

前言

在石化、航空工业系统中,棒材得到了广泛应用,对直径 16mm 以上棒材已有比较成熟的超声检测方法,并有相应的检测标准,而对于直径小于 16mm 的棒材如何进行有效检测一直是比较棘手的问题。目前也没有相应的检测标准,如何保证高温合金小直径棒材超声检测可靠性,一直受人们的关注。

在对棒材的超声波探伤中,存在着探头与棒材的耦合问题,特别是小直径棒材,其圆周曲面的曲率较大,声束发散严重,会产生波形转换,形成表面变型波,使得缺陷信号受到干扰,因而对缺陷进行定位、定量、定性较为困难,甚至无法检测。

针对小直径棒材的特点,有人采用爬波法检测,试验结果表明,爬波对径向缺陷敏感,而对轴向缺陷检测效果差,为此,我们采用了瓦形晶片制作的双晶探头,适当选择有关参数(晶片尺寸,工作频率,焦距,水距等),用水浸法检测,可检出该棒材 $\phi 0.8$ 以上的轴向和径向缺陷。

1 聚焦声场理论

1.1 声轴线上声压表达式及焦距选择

$$P = 2P_0 \sin \left[\frac{\pi B x}{2F} \left(1 - \frac{x}{F} \right) \right] / \left(1 - \frac{x}{F} \right)$$

F—焦距 x—至波源的距离

B—参数 $B = N/F$ N—近场长度

由图 1 可知, F 愈小, B 值愈大,聚焦效果愈好,当 $F \geq N$ 时,几乎没有聚焦作用。因此,焦距应选在近场长度以内。对瓦形聚焦晶片而言,焦距为曲率中心

至晶片的距离。

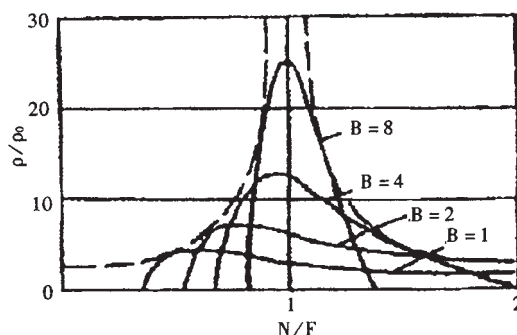


图 1 聚焦声速轴线上声压分布

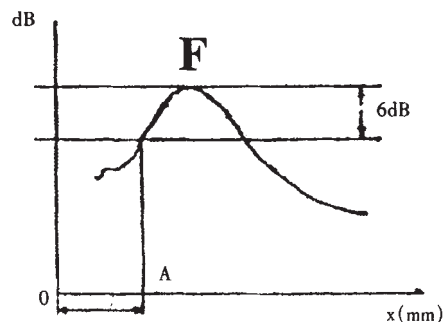


图 2 水距计算示意图

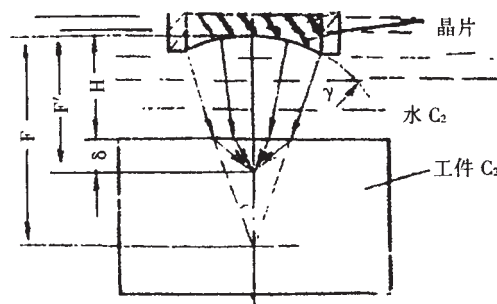


图 3 水距计算示意图

1.2 最佳水距

如图 2、图 3 所示，最佳水距应为水中的距离——振幅曲线相当于焦点 F 处左边下降 6dB 处到探头辐射面的距离。即 OA 段。此时声压最高区域落在被检工件内，从而可保证较高的检测灵敏度。除此以外，水距的选择还应按下式计算：

$$H = F - \delta \frac{C_{\text{工件}}}{C_{\text{水}}}$$

H—水层厚度；
δ—工件中焦点至工件表面的距离。

且应满足 $H \geq \frac{C_{\text{工件}}}{C_{\text{水}}} \cdot T$ ，即保证工件上第二次界面回波落在第一次底波之后。

T—工件厚度；
C_水—水中纵波声速；
C_{工件}—工件中纵波声速。

2 试验条件

2.1 探头设计及制作

本次设计采用不带斜楔的瓦形晶片制作水浸线聚焦双探头，此探头有以下优点：(1) 可保证棒材中两晶片焦点重合，使探头定位，水声程计算相对容易。(2) 因无斜楔，则声能损失降低，信噪比提高，则探伤效果较好。

如图 4 所示，晶片长度为 L，倾斜角为 θ，两晶片

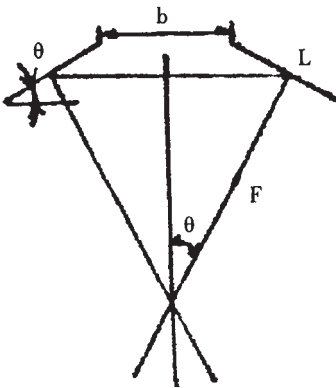


图 4 双晶探头两晶片位置示意图

的上端距离为 b，则由图中的几何关系可得：

$$F \cdot \sin\theta = b/2 + L/2 \cdot \cos\theta \tag{1}$$

因探头外壳选定，晶片尺寸还应满足壳内壁间距要求，则：

$$b + 2L\cos\theta \leq C \tag{2}$$

C—探头外壳内壁间距

由(1)、(2)式可得间距 b 与倾斜角 θ 是相互依赖的两参数，通过以上两式，编程计算可实现两晶片定位。结果如表 1 所示。

表 1 晶片定位参数 b、θ 对照表

距离 b(mm)	倾斜角 θ
0.29	12.5
0.83	13
1.32	13.5
1.90	14
2.44	14.5
2.97	15

同时，已知两晶片倾角范围在 5°~15°为最佳，且两晶片上端间距至少应为 2mm，故选择了 b = 2mm，θ = 14°这组数据。再考虑水与棒材界面对聚焦声束的影响，会使两晶片中心的焦点往上移，倾角应减少，选择倾斜角 θ = 7°、8°、9°、10.5°进行测试，最后取倾斜角为 6°~8°之间。

2.2 试样设计制作

设计小直径棒材试样的目的在于检验线聚焦水浸检测法的效果。试样制作参照 HB/Z59Z 中 AAA 级探伤要求，棒材直径 Ø6~16 试样反射体为孔径 Ø0.8mm 的轴向平底孔，棒材直径 Ø5mm 的反射体一为刻槽深 0.8mm 的 60°V 型槽，另外还有 Ø0.8mm 的轴向平底孔。由于检测中，既要进行径向检查，又要进行周向检查，故 Ø6~16 的试样的平底孔的位置设计距试样表面为 D/5 处和 D/8 处。Ø5 的试样的轴向平底孔设计在试样中心，V 型槽在外表面。具体如图 5 所示：

表 2 棒材试样规格表 单位 mm

棒材直径 D	轴向平底孔距试样表面距离	
	1/5D	1/8D
6	1.2	0.75
10	2	1.25
15	3	1.88
16	3.2	2

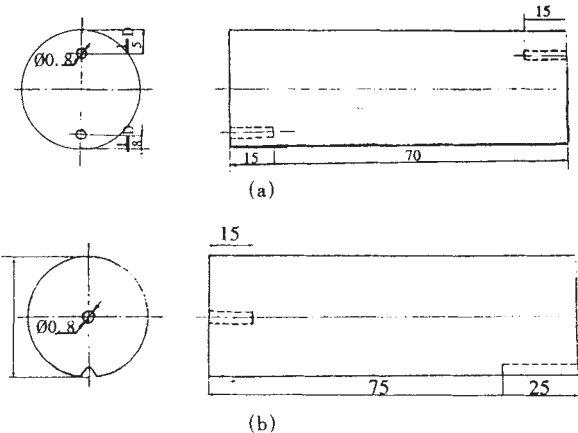


图 5 试样(a)、(b)

3 试验方法及结果

3.1 试验结果

用自制探头(晶片尺寸:13×7,曲率半径:30mm,隔声层:表3为16mm,表4为23mm,频率:5MHz)。对试样棒材进行探伤。测试条件为仪器:CTS-22,基准波高:50%,水距:22mm,得到如下结果:

表 3 不同规格试样的反射波幅 (a)

试样棒材直径 (mm)	反射体反射波幅(dB)		
	界面波	1/8D 处孔	1/5D 处孔
φ16	66	42	40
φ15	66	44	42
φ10	62	46	42
φ6	58	44	47

(b)

试样棒材直径 (mm)	反射体反射波幅(dB)		
	界面波	表面刻槽	中心孔
φ5	58	60	30

表 4 不同规格试样的反射体的反射波幅

试样棒材直径 (mm)	反射体反射波幅(dB)		
	界面波	1/8D 处孔	1/5D 处孔
φ16	64	44	42
φ15	61	44	46
φ10	58	43	45
φ6	54	50	43

表 5 不同检测方法检测结果一览表

试样棒材直径 (mm)	平底孔埋深 (mm)	反射体反射波幅(dB)	
		双晶探头水浸线聚焦	爬波法
φ15	3.75	44	44
	7.5	42	42
	11.25	38	38
φ10	2.5	44	46
	5	40	42
	7.5	38	40
φ7	3.5	42	47

由于本次设计的双晶探头,是不带有机玻璃斜楔块,因而隔声层长度多长为最佳变得很关键,由于瓦形晶片的焦距是30mm,故隔声层的长度不能超过30mm,否则将挡住中心声束,大大降低检测灵敏的。从表3、表4可以看出,隔声层对界面波及缺陷回波均有较大影响,当隔声层较短时,其界面波均普遍较

大,但隔声层也不能太长,否则会挡住晶片中心附近的声束,降低缺陷回波,影响其检测效果。另外,对自制探头而言,经过我们测试分析,水距在22mm时,检测效果最佳。

3.2 几种检测方法对带有径向平底孔试样棒材的检测

测试条件为仪器:CTS-22,基准波高:50%,棒材试样径向平底孔孔径:φ0.8。

由表5可以看出,用双晶探头进行水浸线聚焦法探伤和爬波法对径向平底孔的探伤灵敏度大体相当。

4 结论

在本试验研究中,我们研制了用瓦形晶片制作的双晶探头,并设计制作了试样棒材,并对测试结果进行了分析。同时,还将其与爬波法进行比较。经过分析,得出如下结论:

- (1)确定了高灵敏度水浸聚焦双晶探头的参数。两晶片上端间距为2mm、晶片倾角为6°~8°、隔声层长度为20mm左右。水距为22mm。
- (2)对于径向缺陷,爬波法和双晶探头水浸线聚焦法灵敏度大体相当。
- (3)对轴向缺陷,爬波法不太灵敏,而双晶探头水浸线聚焦法,有较高灵敏度。能检测出试样棒材中,深0.8mm的60°V型槽,及φ0.8mm偏心孔,但对直径5mm棒材中φ0.8中心孔,检测灵敏度较低。
- (4)用瓦形晶片制作的线聚焦双晶探头,采用水浸法检测小直径棒材,试验证明,此方法是可行的,有效的。

参考文献

[1]彭应秋等.小直径棒材爬波检测新技术及相关理论探讨[J].材料工程,1996.10:23~25.
[2]全国锅炉压力容器NDT人员资格考委会编.超声波探伤[M].劳动部锅炉压力容器杂志社,1995.3.
[3]夏纪真.声学无损检测技术[M].南昌航院自编教材,1991.2.

The Application of Ultrasonic Testing Method for Thin - Diameter Rod

Hu Zhi Liu Weichen Peng Yinqiu

(The Inspection & Research Institute of Boiler and Pressure Vessel, Jianxi, China)

Abstract: The principle and test method for testing the 5 - 16mm diameter's rod by tile - shape piezoelectric disc T - R probes and by immersed line - focusing test method is introduced in detail and it is compared with the ultrasonic creeping waves. Thus, the results show that this test method is one of the best methods because it can be operated simply and can meet the technology requirement.
Keyword: Thin - diameter rod; Line - focusing T - R probes ultrasonic testing method; Compare and optimize