

超声纵波检测用对比试块透声特性控制及测试方法

王广星, 孟倩倩, 李 晴, 张微微
(山东瑞祥模具有限公司, 济宁 272400)

摘 要: 介绍了纵波检测用对比试块透声特性的控制、测试方法以及试块透声性测试中原材料检测、平底孔的检测、成品试块检测的验收方法, 并重点介绍了水浸检测回波幅值拟合曲线的两种制作方法。

关键词: 试块; 透声特性; 水浸检测; 拟合曲线

中图分类号: TG115.28 文献标志码: A 文章编号: 1000-6656(2022)06-0045-03

Control and test method of sound transmission characteristics of contrast blocks for ultrasonic longitudinal wave testing

WANG Guangxing, MENG Qianqian, LI Qing, ZHANG Weiwei
(Shandong Ruixiang Mould Co., Ltd., Jining 272400, China)

Abstract: This paper introduces the control and testing method of the sound transmission characteristic of the contrast test block used for longitudinal wave testing, the testing method of the raw material, the testing of the flat bottom hole and the testing and acceptance of the finished test block in the sound transmission testing of the test block, two methods of making fitting curve of flood detection echo amplitude are also introduced in detail.

Key words: block; sound transmission characteristic; immersion detection; fitting curve

成套对比试块中各试块透声特性的一致性会直接影响仪器校准、灵敏度确定、检测结果的一致性及缺陷定量的准确性。因此, 试块材料透声性能的测试对超声检测有重要的意义。对于成套试块, 在制作后应采用液浸法测定其距离-波幅曲线, 即测定将每一平底孔回波提高到相同幅值时所需增益与声程的关系, 并通过数据点画出最佳拟合线。对于一套可接受的试块, 不应有任一点与拟合线相差超过 $\pm 1\text{ dB}^{[1]}$ 。

笔者为了确保高要求平底孔试块的产品质量满足标准要求, 从试块原材料方面进行透声特性控制并采取标准中规定的水浸检测方式对其进行测试。

1 试块材料透声特性的控制

试块材料的一致性和纯净度是透声特性的保

证。标准 GJB 1580A—2004《变形金属超声检验方法》中规定, 对于每套试块(不少于 12 块)材料, 在制作前应采用液浸法测定其透声特性的一致性。所有试块材料在加工前必须进行超声检测, 在检测要求规定的工作频率下进行材料检测时, 不应有任何高于拟加工标准反射体回波幅值 25% 的回波显示。

对每一厚度的试块材料进行测量, 记录将一次底面反射信号提高至同一幅值所需的增益量, 同时绘制分贝值与材料厚度的关系图, 通过各数据点画出最佳拟合线。

对于圆柱形曲面试块, 任何部位由材料引起的底反射幅值变化均不应大于 2 dB。

2 试块透声特性的测试

2.1 测试方法的选择

2.1.1 仪器和探头

对于原材料验收和试块拟合曲线的制作, 使用

收稿日期: 2022-02-17
作者简介: 王广星(1981—), 男, 工程师, 主要从事无损检测试块的设计制造工作
通信作者: 孟倩倩, mengqqbeyoud@163.com

的探头一般以 5 MHz 水浸探头为主,对于上表面分辨率人工伤的验收,可以增加 10 MHz 水浸探头,但是在制作拟合曲线时,必须保证两条曲线有若干个人工伤的重叠,以确保人工伤的声学准确性^[2]。

2.1.1.2 焦点的测试

在制作原材料验收和拟合曲线时,水层距离应为探头的焦距长度。使用直径 3.2 mm 的钢球对探头焦点进行测试,探头焦点测试工装如图 1 所示。将探头放置在钢球正上方,钢球紧贴探头,同时观察钢球回波幅度,当钢球反射波达到最高回波时对应的水层距离即为探头的实际焦距。该测试可确保焦点落在试块表面。



图 1 探头焦点测试工装

2.1.1.3 探头参数

使用的超声波仪器和水浸探头必须按照相关规定每年进行定期校验,相关技术指标应符合标准要求,水浸探头参数主要涉及探头水层距离、频率。当复验的参数相差超过 10% 时,该探头不可再用于拟合曲线的制作。

2.1.1.4 水浸检测装置

使用的水槽在长、宽、高方向应满足试块的水浸要求, x 轴行程应能够满足测试试块长度方向要求, z 轴行程应能够满足测试试块水层距离要求,水槽底部对圆柱形试块应有固定装置,并能够进行 w 轴的转动,运动机构包括 x, y, z, a, b, w 轴,且 6 个轴能够单独进行运动,各轴运动时应保证满足相对精度和运动控制的要求。水浸检测设备实物如图 2 所



图 2 水浸检测设备实物

示,水浸检测试块及工装如图 3 所示。



图 3 水浸检测试块及工装

2.2 试块的水浸检测

2.2.1 平面试块水浸检测

制作距离-波幅曲线时首先调整水层距离,水层距离以探头的实际焦点落在试块的表面为准^[1];其次,调整 a, b 轴,获得界面波的最大值,此时探头和试块表面成垂直状态;最后提高灵敏度,移动 x, y 轴,将人工伤信号的波幅调整到满屏高度的 80%,记录仪器的分贝值;重复上面的步骤对所有试块进行检测。将所有试块的埋深和分贝值进行整理,形成一条距离-波幅曲线。

2.2.2 曲面试块水浸检测

一套曲面试块的水浸测试可能包含了距离-波幅和面积-波幅关系。制作曲线时首先调整水层距离,水层距离以探头的实际焦点落在试块的表面为准;其次调整 a, b 轴,获得界面波的最大值,此时探头和试块表面成垂直状态;最后提高灵敏度,移动 x, y, w 轴,将人工伤调整到满屏高度的 80%,记录仪器的分贝值;重复上面的步骤对所有试块进行检测。将所有试块的埋深和分贝值根据人工伤孔径大小规律进行整理,形成若干条曲线。

2.2.3 上表面分辨率标准反射体水浸检测

对于埋深在 10 mm 以内的且 5 MHz 探头无法发现的人工伤,一般采用 10 MHz 探头进行检测,具体步骤和其他埋深的人工伤相同,考虑到 10 MHz 探头可能无法满足整套试块的拟合曲线制作,在使用 10 MHz 探头制作曲线时,可仅用 10 MHz 探头测试埋深较小的点,5 MHz 探头测试埋深较大的点,为保证各点的连续性,两种探头测试曲线必须重合 3 个点以上,确保人工伤的声学对应关系,制作曲线时,会单独形成一条 10 MHz 探头的曲线。

2.2.4 小规格曲面试块水浸检测

水浸平探头的焦点相对较大,对小规格曲面试块的检测效果不佳,因此对于该类试块,宜采用

水浸点聚焦探头进行检测，检测方法和曲线制作过程相同。

2.3 测试结果的确认

2.3.1 反射波幅拟合曲线的测试

将测试试块第一点的反射波幅调整至满屏的80%，固定检测灵敏度，依次测量不同埋深的平底孔发射回波幅值，记录基准波幅值，并计算±1 dB增益所对应的反射波幅，依次填入表格中。试块测试数据如表1所示，制作的试块验收波幅拟合曲线如图4所示。

表 1 试块测试数据

第一条曲线测试参数				
灵敏度/ dB	声程/ mm	−1dB 幅值/ %	基准幅值/ %	+1dB 幅值/ %
47	10	81.11	91	102.10
	15	69.52	78	87.52
	20	57.93	65	72.93
	25	48.13	54	60.59
	30	44.56	50	56.10
	35	40.11	45	50.49
	40	36.54	41	46.00
	45	26.74	30	33.66
	50	23.17	26	29.17
	60	20.50	23	25.81
57.5	70	14.26	16	17.95
	80	11.59	13	14.59
第二条曲线测试参数				
灵敏度/ dB	声程/ mm	−1dB 幅值/ %	基准幅值/ %	+1dB 幅值/ %
57.5	50	73.98	83	93.13
	60	63.28	71	79.66
	70	45.45	51	57.22
	80	37.43	42	47.12
	90	31.19	35	39.27
	100	28.52	32	35.90
	110	19.61	22	24.68
	120	16.93	19	21.32

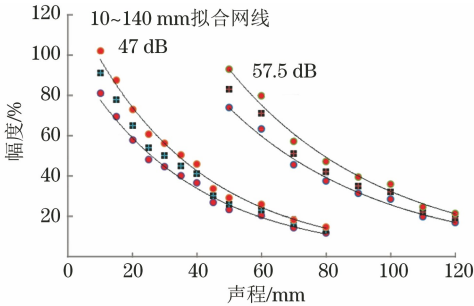


图 4 试块验收波幅拟合曲线

试块材料为 TC4；标准反射体为 ϕ 2 mm 平底孔；测试仪器型号为 CTS-1010；测试探头为 5 MHz ϕ 10 mm 直探头。

拟合曲线图中“■”位置为测试试块实际反射波幅，红色“●”位置为±1 dB点。

采用该方式，在一条曲线不能实现全覆盖时，增加一条曲线，增加的曲线与原曲线至少重叠3点以上。若两条曲线上的所有点均符合要求，则该试块测试合格。

2.3.2 反射量拟合曲线的测试

将测试试块第一点的反射波幅调整至满屏的80%，记录此时的检测灵敏度，依次测量不同埋深的平底孔（均使反射回波幅值达到满屏的80%），记录各自的检测灵敏度，不同缺陷埋深试块测试基准灵敏度如表2所示。试块验收灵敏度拟合曲线如图5所示。

表 2 不同缺陷埋深试块测试基准灵敏度 dB

缺陷埋深/ mm	基准灵敏度 −1 dB	基准灵敏度	基准灵敏度 +1 dB
10	46.0	47.0	48.0
15	45.6	46.6	47.6
20	44.5	45.5	46.5
25	42.9	43.9	44.9
30	41.6	42.6	43.6
35	40.4	41.4	42.4
40	39.4	40.4	41.4
45	38.2	39.2	40.2
50	36.2	37.2	38.2
66	35.3	36.3	37.3
70	33.2	34.2	35.2
80	31.2	32.2	33.2
90	29.2	30.2	31.2
100	27.8	28.8	29.8
110	26.5	27.5	28.5
120	24.5	25.5	26.5
130	23.2	24.2	25.2
140	22.7	23.7	24.7

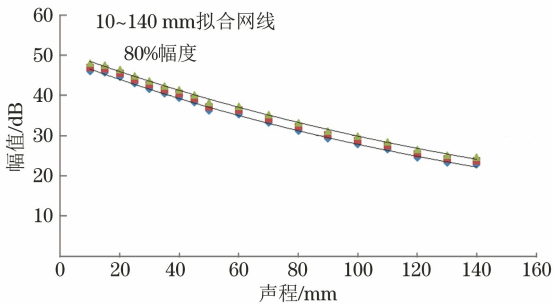


图 5 试块验收灵敏度拟合曲线

2.3.3 拟合曲线评定

对于一套可接受的试块，不应有任一点幅值与
(下转第 71 页)

1.4 MHz~2.6 MHz 频带范围内,取 $\Delta f=10\text{ kHz}$ 对每次所得的 T_s 进行差频叠加,不同球半径所对应目标强度实测值与理论化的对比结果如图 7 所示,可见这 7 个球半径超声定量结果分布于理论曲线两侧附近。表 1 中列出了球的实际半径 a 、多次测量平均值 a^* 及两者之间的绝对误差 $\Delta(\Delta=|a-a^*|)$ 。对比发现, a 为 6.0,7.0,9.0 mm 时,超声定量偏差较小,但 a 为 5.0,5.5,7.5 mm 时偏有效期较大,测量误差并不稳定。可能原因主要有以下几点:① 试验过程中不能完全保证发射、接收探头声束轴线与球体直径在一条线上;② 数据采集过程中电信号的波动导致多次测量结果之间存在幅度上的差别;③ 散射信号较弱,信噪比低。

表 1 钢球半径的超声定量结果 mm

实际半径 a	测量半径 a^*	绝对误差 Δ
5.0	6.49	1.49
5.5	7.26	1.76
6.0	5.63	0.37
7.0	7.22	0.22
7.5	8.38	0.88
9.0	9.54	0.54
10.0	8.51	1.49

4 结论

鉴于散射目标强度 T_s 与散射球半径 a 存在多值性问题,提出了在一定频带内通过对 T_s 差频叠加以减弱干涉,使 $T_s\sim a$ 满足单值对应的方法,并通过试验对该方法的有效性进行了验证,但该



(上接第 47 页)

拟合线相差超过 $\pm 1\text{ dB}$,超过该值时,应重新进行制作和测试,确保试块满足要求。

3 结语

纵波检测用标准试块是超声检测的常用试块,为保证试块的一致性及测试数据的可重复性,在标准中对其加工和验收有着严格的要求。文章介绍了纵波检测标准试块超声检测的质量控制及测试方法同时,保证了各试块材料声学性能的一致性。同时详细介绍了试块加工完成后基于液浸

方法易受声信号接收角度的影响且仅对球形散射体有效。通过进一步研究发现,由多个阵元组成的相控阵探头可以接收多角度的散射波,是减弱、消除干涉的优选方法。另外,采用聚焦探头也便于对更多角度的散射波进行叠加、消除干涉,还能提高探头的分辨率,相对增大球半径的可检测范围和检测精度。

参考文献：

[1] 丁琪瑛,吴水才,宋爽,等. 散射子直径成像超声组织定征研究综述[J]. 生命科学仪器, 2020,18(3):28-37.

[2] 王昌富,李琳芸,王鸿利. 血液中微粒的检测方法及临床意义[J]. 中华检验医学杂志, 2006,29(6):3.

[3] 陈伟中. 声空化物理[M]. 北京: 科学出版社, 2014.

[4] 明廷锋,朴甲哲,张永祥. 超声波散射式颗粒测量及其测量结果单值性的分析[J]. 计量学报, 2006(2):179-182.

[5] ZHANG W Y,ZHOU T,DU W D,et al. A method for undersea gas bubbles detection from acoustic image[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2019,146 (4):2798-2798.

[6] 汤渭霖,范军,马忠成等. 水中目标声散射[M]. 北京: 科学出版社, 2018.

[7] ROBERT. Analysis of Echoes from a Solid Elastic Sphere in Water[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1962,34(10):44.

[8] 徐盛瀛,范军,王斌. 基于声学隧道效应的低频目标强度增强技术[J]. 声学技术, 2020,39 (1):34-39.

检测的两种超声检测拟合曲线制作方法。以上两种检测方法有效地保障了试块的验收质量,同时也为超声检测同行进行检测及拟合曲线制作提供了一些参考。

参考文献：

[1] 李立鸿,刘波,钟敏,等. 金属棒材水浸聚焦超声检测技术研究[J]. 无损探伤, 2021,45(11):17-21.

[2] 范志山,徐春杰,刘志洲,等. TC4 合金 $\varphi 25\text{ mm}$ 棒材水浸检测探头应用研究[J]. 铸造技术, 2018,39 (10):2349-2353.