

# 层压板和蜂窝结构粘接缺陷的超声 C 扫描检测

刘春秘, 张素香, 郑维龙

(沈阳飞机工业集团(有限)公司 理化测试中心, 沈阳 110850)

**摘要:**介绍了用某超声 C 扫描检测设备检测碳纤维环氧层压板、碳环氧板纸蜂窝粘接结构、铝板铝蜂窝粘接结构三种材料粘接缺陷的试验结果。试验用的试块带有  $\phi$  4, 10, 16 mm 三种尺寸的人工缺陷, 用于模拟各种脱粘缺陷。采用喷水探头透射法, 用 5 MHz 超声检测层压板, 用 1 MHz 超声检测蜂窝结构, 都得到了人工缺陷的清晰准确的 C 扫描图。对于厚度为 135 mm 的纸蜂窝结构, 因超声衰减太大, 尚不能检测。

**关键词:**层压板; 蜂窝结构; 粘接缺陷; 超声 C 扫描

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2012)05-0062-03

## Inspection of Bonding Defects in Composite Laminates and Honeycomb Structures by Ultrasonic C-Scan Method

LIU Chun-Mi, ZHANG Su-Xiang, ZHENG Wei-Long

(Physical and Chemical Testing Center, Shenyang Aircraft Industrial Group Company Ltd, Shenyang 110850, China)

**Abstract:** This paper illustrates the results of experiments in which carbon fiber reinforced epoxy laminates, honeycomb structures composed of carbon epoxy covers and paper cores, and honeycomb structures composed of aluminum alloy covers and aluminum alloy cores are tested by an ultrasonic C-scan system for finding bonding defects. The reference blocks used in the experiments have round disk shape artificial defects which simulate bonding defects. The diameters of the defects are 4 mm, 10 mm, and 16 mm, respectively. Through transmission method and water jets coupling are used. The laminates are tested with 5 MHz ultrasound and the honeycomb structures are tested with 1 MHz ultrasound. As a result, clear and accurate C-scan pictures of the defects are obtained except those in the honeycomb structure with 135 mm thick paper core. The failure is caused by the high attenuation of the honeycomb structure.

**Keywords:** Laminate composite; Honeycomb structure; Bonding defect; Ultrasonic C-scan

层压板和蜂窝胶接结构具有比强度高、比刚度高及可设计性强等优点, 越来越广泛地应用于制造飞机的某些构件, 如机翼壁板、方向舵、垂尾构件以及机翼等。由于这些材料的制作过程存在无法控制的偶然因素, 常常导致缺陷产生。为了保障飞机的安全, 上述材料都要进行 100% 无损检测。国内外针对层压板和蜂窝胶接结构研发的无损检测方法大约有 16 种, 而生产中采用的探伤方法只有 3~4 种,

其中超声 C 扫描是最重要的检测方法, 它的检测灵敏度高、自动化程度高, 因此应用比较普遍<sup>[1~2]</sup>。而对于形状复杂的构件和某些特殊情况, 其它方法往往具有独到之处, 因此应当根据具体情况选择不同的方法<sup>[3~4]</sup>。

笔者试验所用构件是用层压板和蜂窝胶接结构制造的, 其技术文件规定需要进行超声 C 扫描检测。介绍了采用超声 C 扫描设备检测层压板和蜂窝胶接结构的试验结果。

收稿日期: 2011-05-03

作者简介: 刘春秘(1979—), 男, 工程师, 无损检测专业学士。

## 1 超声 C 扫描设备的基本结构和功能

超声 C 扫描设备由计算机、超声波探伤仪、扫描器、扫描器驱动电源四部分组成,如图 1 所示。

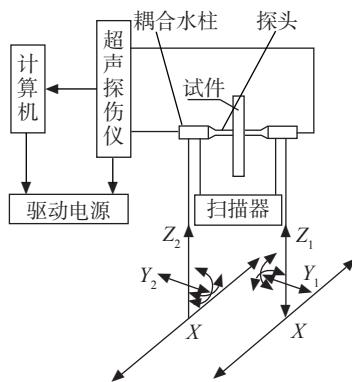


图 1 超声 C 扫描系统组成框图

试验所用超声波探伤仪的型号是 Sonic-138, 使用喷水式探头, 对于层压板使用 5 MHz  $\phi$  25.4 mm 探头, 对于蜂窝胶接结构使用 1 MHz  $\phi$  25.4 mm 探头。采用的探伤方法是透射法, 要求较高的探头调节精度和扫查精度, 特别是要求两个探头的扫查移动精确同步。

扫查器设有两个 Y 方向移动导轨  $Y_1$  和  $Y_2$ , 两个 Z 方向移动导轨  $Z_1$  和  $Z_2$ , 一个 X 方向移动导轨 X。两个探头可以相互独立地在 Y 和 Z 方向移动, 探头采用手工调节可以在 Z-Y 和 X-Y 两个平面内改变角度, 以保证两个探头的声轴垂直于被检测工件的表面, 并且两个探头的声轴在同一条直线上。

两个探头的扫查移动包括沿 X, Y, Z 三个方向在五个导轨  $X, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2$  上的移动, 每个导轨上的移动是用单独的步进电机驱动, 步进电机的驱动电源由计算机程序控制, 这样就实现了探头扫查的计算机程控。计算机读出并存储探头扫查过程中有关探头位置的数据和来自超声探伤仪的缺陷回波幅度的数据, 用这些数据绘出 C 扫描图并显示在液晶屏上。扫查器不仅能对平面工件进行扫查, 编写并运行适当的扫查驱动程序, 也能对曲率不大形状不很复杂的曲面工件进行扫查。软件功能除数据采集、处理、显示、存储之外, 还能计算缺陷的面积。

扫查器的性能数据为①最大行程 X 为 2 000 mm,  $Y_1$  和  $Y_2$  为 1 000 mm,  $Z_1$  和  $Z_2$  为 200 mm。②最快扫查速度 X 为 300 mm/s,  $Y_1$  和  $Y_2$  为 100 mm/s。③重复定位精度 X 为 0.5 mm,  $Y_1$  和  $Y_2$  为 0.2 mm。④最小采样间距 0.3 mm。

## 2 参考试块和人工缺陷检测试验

参考试块和待检构件的材料和制作工艺完全相同。根据检测需要, 制作了九个参考试块, 每个试块的具体数据见表 1。1~5 号试块用于检测碳纤维/环氧层压板(8~80 层)。按照构件的技术文件要求, 将两层 0.03 mm 厚的聚四氟乙烯薄膜分别剪成  $\phi$  4 和 10 mm 的圆形薄片, 薄片夹在表面下第 2 层与第 3 层之间, 以及试块的中心(如 40 层的层压复合材料, 就夹在第 20 层和第 21 层之间), 示意图见图 2。

表 1 九个参考试块的检测结果

试块	材料	缺陷类型	缺陷尺寸/mm	探头频率/MHz	仪器增益/dB	试验结果
1	8 层碳纤维层压板	贴膜	$\phi$ 4, $\phi$ 10	5	56.2	试块缺陷均能发现, 显示缺陷尺寸与实际尺寸一致
2	20 层碳纤维层压板	贴膜	$\phi$ 4, $\phi$ 10	5	56.4	试块缺陷均能发现, 显示缺陷尺寸与实际尺寸一致
3	50 层碳纤维层压板	贴膜	$\phi$ 4, $\phi$ 10	5	61.2	试块缺陷均能发现, 显示缺陷尺寸与实际尺寸一致
4	64 层碳纤维层压板	贴膜	$\phi$ 4, $\phi$ 10	5	63.4	试块缺陷均能发现, 显示缺陷尺寸与实际尺寸一致
5	80 层碳纤维层压板	贴膜	$\phi$ 4, $\phi$ 10	5	64.0	试块缺陷均能发现, 显示缺陷尺寸与预置一致
6	14 层蒙皮 + 14 mm 蜂窝 + 14 层蒙皮	下凹, 上贴膜, 下贴膜	$\phi$ 10, $\phi$ 16	1	69.2	试块缺陷均能发现, 显示缺陷尺寸与实际尺寸一致
7	14 层蒙皮 + 135 mm 蜂窝 + 14 层蒙皮	下凹, 上贴膜, 下贴膜	$\phi$ 10, $\phi$ 16	1	—	试块缺陷均不能发现
8	0.3 mm 蒙皮 + 34 mm 蜂窝 + 0.3 mm 蒙皮	下凹, 上贴膜, 下贴膜	$\phi$ 10	1	71.2	试块缺陷均能发现, 显示缺陷尺寸与实际尺寸一致
9	0.4 mm 蒙皮 + 43 mm 蜂窝 + 0.4 mm 蒙皮	下凹, 上贴膜, 下贴膜	$\phi$ 10	1	78	试块缺陷均能发现, 显示缺陷尺寸与实际尺寸一致

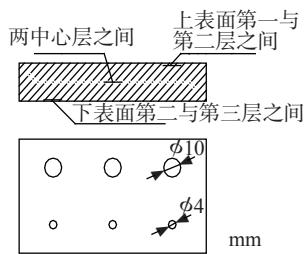


图2 碳纤维/环氧层压板试块示意图

6号和7号试块用于检测碳纤维环氧蒙皮纸蜂窝粘接结构。蒙皮为14层碳纤维环氧层压板,夹芯分别为14 mm厚(6号试块)和135 mm厚(7号试块)纸蜂窝。共设置了三个类别,两种尺寸的人工缺陷。第1类缺陷模拟蒙皮与胶膜之间脱粘,第2类缺陷模拟胶膜与蜂窝之间脱粘,第3类缺陷模拟蜂窝局部下凹。人工缺陷尺寸分别是 $\phi 10$ 和16 mm。共六个人工缺陷,都是把两层0.03 mm厚的聚四氟乙烯圆片镶嵌在材料内适当位置(图3)。

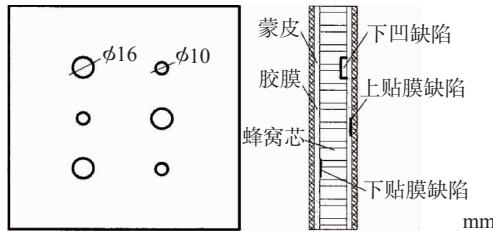


图3 碳纤维环氧蒙皮纸蜂窝夹芯粘接结构试块示意图

8号和9号试块用于检测铝合金蒙皮铝合金蜂窝粘接结构。蒙皮厚度分别是0.3 mm(8号试块)和0.4 mm(9号试块),蜂窝规格分别是0.03 mm厚×4 mm边长(8号试块)和0.04 mm厚×3 mm边长(9号试块),蜂窝厚度30 mm。和6号7号试块一样,设置了三个类别的人工缺陷,但是缺陷尺寸只有

$\phi 16$  mm一种,缺陷的制作方法也和前面所述相同(图4)。

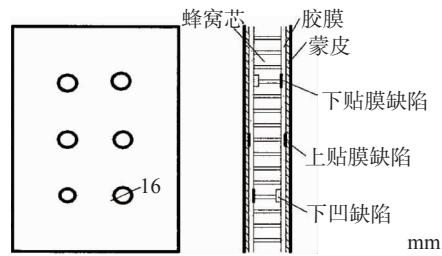


图4 铝合金蜂窝板试块示意图

对上述九个试块进行超声C扫描检测,在八个试块上取得了良好的试验结果。如图5~7的缺陷图像清晰,缺陷尺寸与实际尺寸一致。7号试块由于纸蜂窝的厚度太厚(135 mm),Sonic-138型仪器功率目前还不能对这种材料进行检验。计划用一台发射电压更高的仪器替换现在用的仪器之后进行试验。

表1中给出了每个试块的材料和人工缺陷的尺寸,以及对每个试块进行检测的条件和结果。

### 3 结语

文中介绍的超声C扫描探伤系统Sonic-138采用计算机程控扫查,自动化程度高,调节标定方便,扫查精度高,缺陷图像清晰。试验结果表明,该设备检测航空用碳纤维环氧层压板、碳纤维环氧层压板纸蜂窝粘接结构、铝合金板铝合金蜂窝粘接结构三种材料的探伤灵敏度和缺陷面积测量精度,都能满足有关的技术文件的要求。但对于纸蜂窝厚度为135 mm的粘接结构,该设备的超声发射功率不足,还需要研究改进。

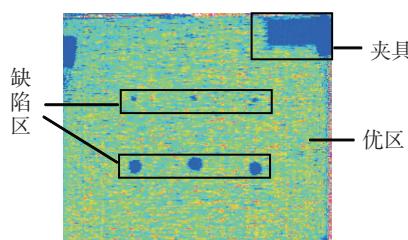


图5 3号试块的超声C扫描图

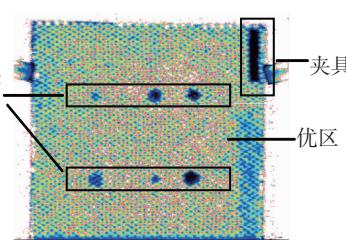


图6 6号试块的超声C扫描图

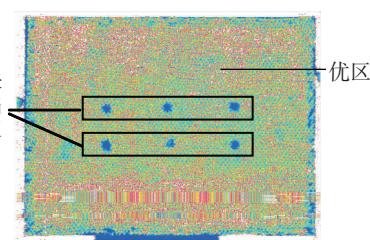


图7 9号试块的超声C扫描图

### 参考文献:

- [1] Adams R D, Cawley P. A review of defect types and nondestructive testing techniques for composites and bounded joints[J]. NDT International, 1988, 21(4): 208—222.

- [2] 李慧娟,吴东流,王俊涛,等.铝蒙皮蜂窝夹层结构的各种无损检测方法[J].无损探伤,2009,33(2):9—12.  
[3] Halmshaw R. Non-destructive Testing[M]. Edward Arnold, London, 1987: 202—203, 296—299, 302—305.  
[4] 李家伟,陈积懋.无损检测手册[M].北京:机械工业出版社,2004:954—1014.