

结构/阻尼一体化复合材料超声波检测方法

吴时红 张颖 何双起 谭朝元 吴君豪

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

摘 要 采用超声脉冲穿透法和超声脉冲反射法相结合,对结构/阻尼一体化复合材料产品开展超声无损检测方法研究。研究表明,超声检测可有效检测出结构/阻尼一体化复合材料产品中复合材料中的分层缺陷和复合材料与阻尼材料间的脱粘缺陷。

关键词 超声检测,脱粘,复合材料,穿透法,反射法

中图分类号:TB553

DOI:10.12044/j.issn.1007-2330.2017.05.018

Ultrasonic Testing Method of Structure/Damping Integrative Composites

WU Shihong ZHANG Ying HE Shuangqi TAN Zhaoyuan WU Junhao

(Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract The ultrasonic testing technique of structure/damping integrative composites has been studied in this paper. It has been found that delamination defects in the composites and debonding defects between the composites and damping layer could be detected efficiently by pulse echo technique and transmission technique.

Key words Ultrasonic testing, Debond, Composites, Penetrating method, Reflecting method

0 引言

结构/阻尼一体化复合材料技术已广泛应用于航空、航天、船舶、汽车等许多工业领域^[1]。在航天产品中,为降低承载仪器的共振响应,避免产生噪声和疲劳破坏,提高精密仪器的可靠性和精度,国内外大量研究结构/阻尼一体化复合材料技术,开展结构/阻尼一体化复合材料承载部件研制,实现了承载结构的轻质化和高阻尼设计要求^[2]。

航天产品使用的结构/阻尼一体化复合材料多为“三明治式”复合结构,其基体一般为C/E、玻璃钢等复合材料,中间夹层为橡胶阻尼材料(图1),阻尼材料在基体预浸料铺层过程中按照设计要求铺放在产品中的指定位置,并与基体一同经历加温加压共固化成型,成型制品中由于存在多个界面,加压过程中容易存在复合材料分层缺陷和复合材料与阻尼材料间的脱粘等影响产品使用性能的缺陷(图2、图3)。为满足航天产品高可靠要求,本文主要针对典型结构/阻尼一体化复合材料,开展超声检测方法研究,实现材料及制品中缺陷的有效检出^[3-5]。



图1 结构/阻尼一体化复合材料结构示意图

Fig.1 Schematic of structure/damping integrative composites

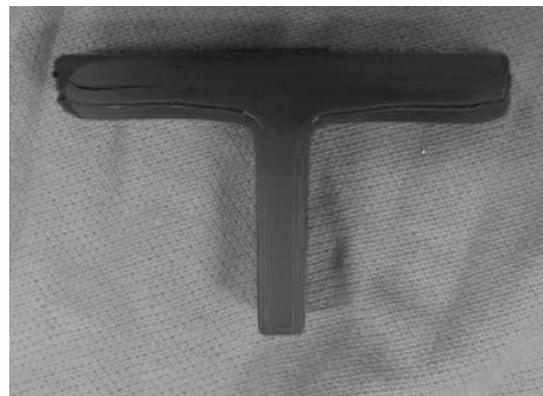


图2 复合材料分层缺陷

Fig.2 Delamination defects of composite materials

收稿日期:2017-04-11

第一作者简介:吴时红,1973年出生,高级工程师,主要从事超声无损检测研究

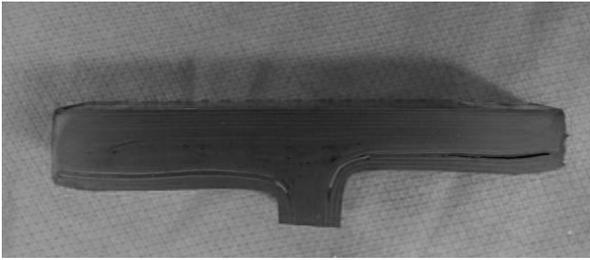


图3 产品脱粘缺陷

Fig.3 Debonding defects of product

1 超声检测方法

测定声学参量是进行超声检测研究的基础,为此,对复合材料和阻尼材料进行声阻抗的测量。声速测量原理:

$$v=L/T$$

式中, v 为超声波传播速度; L 为被测材料长度; T 为超声脉冲在试件中的传播时间。

测量声速用的仪器:CTS-25型复合材料探伤仪;探头频率:50 kHz;校准时标:26 μ s。测量结果:C/E复合材料声速为2.41 km/s;阻尼材料声速为1.72 km/s。

C/E复合材料密度 1.55 g/cm^3 ; $Z=\rho v=3.7 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$;

阻尼材料密度 1.07 g/cm^3 ; $Z=\rho v=1.8 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ 。

通过对材料声阻抗的实际测量,可知结构/阻尼一体化复合材料中C/E复合材料与阻尼材料间存在较大差异。这使得在粘接良好区与脱粘区均有较大的界面反射波。粘接良好与脱粘缺陷通过界面信号难以分辨。

结构/阻尼一体化复合材料结构的声学特点:(1)C/E复合材料基材是多层、非均质材料,具有较高的声衰减;(2)阻尼材料是以橡胶为主要原料的高

声衰减的弹性材料,且声衰减又具有较大的离散性;(3)C/E复合材料与阻尼材料声阻抗存在较大的差异。这些声学特点增加了结构/阻尼一体化复合材料超声检测的难度。

结构/阻尼一体化复合材料由于结构、生产工艺等因素的影响,产品内部可能存在缺陷。主要是:(1)复合材料基材本身的缺陷:复合材料基材分层、类夹杂等缺陷;(2)复合材料与阻尼层间脱粘缺陷。为控制产品质量,要求对结构/阻尼一体化复合材料内部的两类缺陷进行无损检测。

1.1 复合材料基材缺陷的检测

结构/阻尼一体化复合材料中复合材料基材的检测采用超声脉冲反射法,主要检测复合材料内部分层、类夹杂等缺陷,复合材料内部质量检测是靠C/E复合材料与阻尼层的界面波的幅值,波形特点来判断。通过大量的试验,以及对仪器、探头和频率、波形、增益、阻尼、抑制等探伤条件和参数进行优选,确定了最佳探伤系统和参数,根据C/E复合材料与阻尼层间界面波的波形特点来进行C/E基材内部的材质评定。

1.2 脱粘缺陷的检测

超声脉冲穿透法主要用于检测结构/阻尼一体化复合材料结构中C/E复合材料与阻尼材料间的脱粘缺陷。超声波穿透法采用两个探头,分别置于被检结构/阻尼一体化复合材料相对的两个面,一个作为发射探头、另一个作为接收探头,由接收探头接收穿过被检复合材料的超声波。

检测时,如果结构/阻尼一体化复合材料结构中内部存在脱粘缺陷,则超声波在穿透复合材料过程中被其内部缺陷反射、散射和吸收,穿透波信号幅度降低或消失(图4),通过穿透波信号幅度的变化实现对脱粘缺陷的检测。

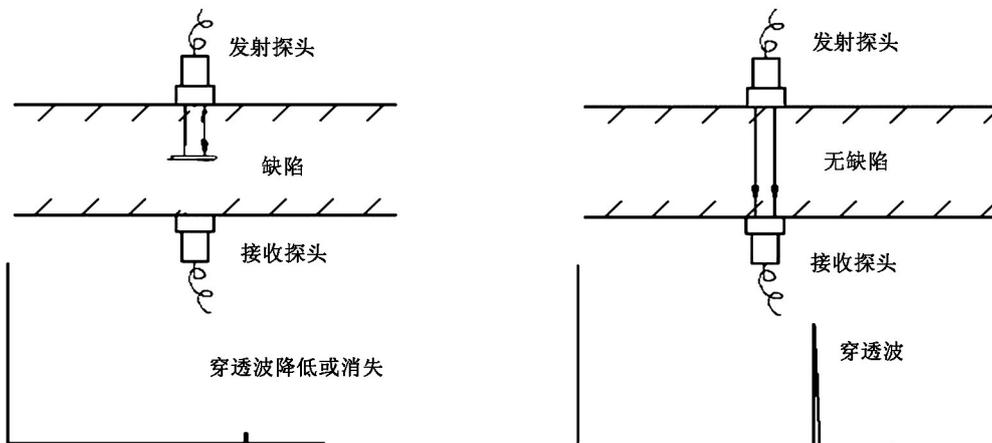


图4 超声波穿透法检测示意图

Fig.4 Illustration of ultrasonic transmission method

需要制作预埋脱粘缺陷的对比试样用于仪器灵敏度的调整。测量对比试样上脱粘缺陷部位及无缺陷部位的分别测量穿透波幅值为 80% 波高的分贝值 (表 1)。

表 1 脱粘缺陷与无缺陷部位分贝值对比表

Tab.1 Comparison in dB between debonding defects and good parts of the adhesive

试样	无缺陷部位/dB	脱粘缺陷部位/dB (10 mm×10 mm)
1	38	100
2	34	98
3	36	102
4	40	100
5	32	102
6	36	98
平均值	36	100

从表 1 可知,脱粘缺陷与无缺陷部位相比,分贝值相差 60 dB 以上。在对比试样上调整仪器灵敏度。在对比试样无缺陷部位调节“增益”和“增益微调”旋钮,使穿透波幅度达到探伤仪荧光屏满刻度的 80%,然后将增益提高适当的分贝值,此时的波幅大于 100%。再将探头移至对比试样上 10 mm×10 mm 的缺陷处,穿透波降低或消失。在检测实际产品时,以穿透波幅度下降到 10% 以下确定为脱粘缺陷。

2 结果分析

2.1 基材分层缺陷检测结果

采用超声反射法可有效检测出复合材料基材的缺陷,C/E 复合材料基材不同深度分层缺陷波形图见图 5~图 7。可以看出材料分层处出现多次反射波。

对于检测出的复合材料分层缺陷我们做了金相分析,从图 8、图 9 中可看出复合材料的分层缺陷为材料间出现裂纹,或层间存在超声波无法穿透的巨大气孔,导致超声波在该层处全部发生了反射。

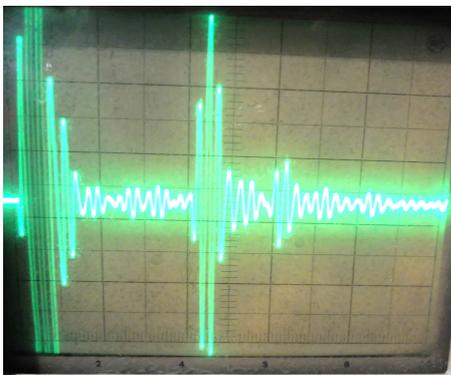


图 5 产品无缺陷区波形图
Fig.5 A-scan image of product without delamination defects

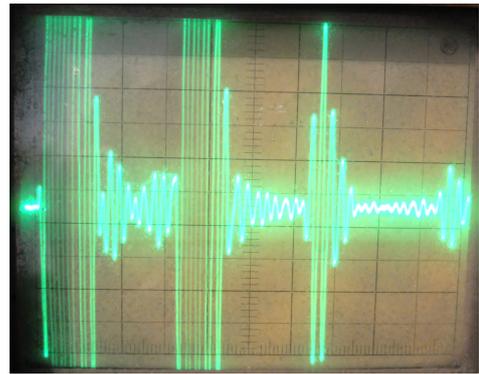


图 6 1/2 分层缺陷波形图
Fig.6 A-scan image of product with delamination defects in 1/2 depth

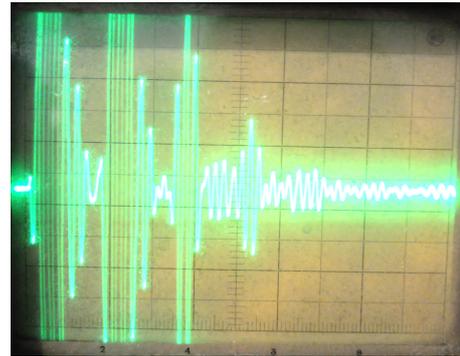
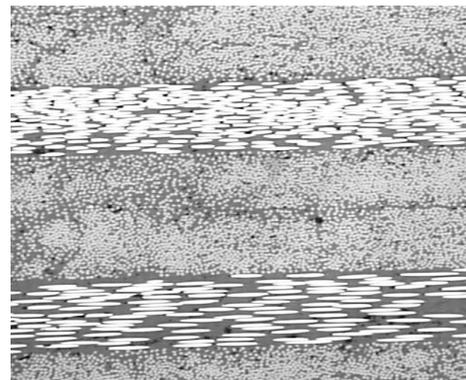


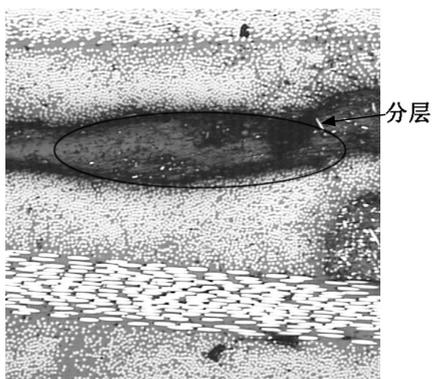
图 7 1/4 分层缺陷波形图
Fig.7 A-scan image of product with delamination defects in 1/4 depth



图 8 分层缺陷产品解剖图
Fig.8 Cross-section of product with delamination defects



(a) 无缺陷



(b) 分层缺陷

图9 复合材料微观结构图

Fig.9 Microstructure of composite materials

2.2 脱粘缺陷检测结果

超声脉冲穿透法检测出的脱粘缺陷部位进行解剖,如图10所示,解剖后发现复合材料与阻尼材料间完全脱开。



图10 脱粘缺陷产品解剖图

Fig.10 Cross-section of product with debonding defects

对脱粘缺陷进行超声脉冲反射法检测,可以从图11和图12的两图对比中明显看出在粘接界面处明显存在超声反射信号。

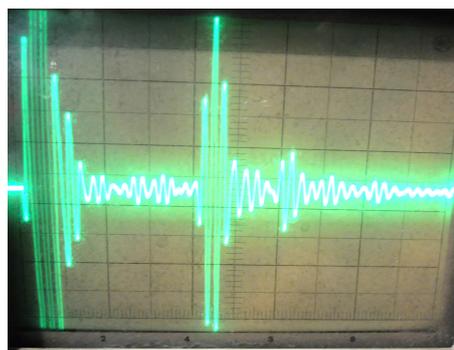


图11 粘接完好区波形

Fig.11 A-scan image of product without debonding defects

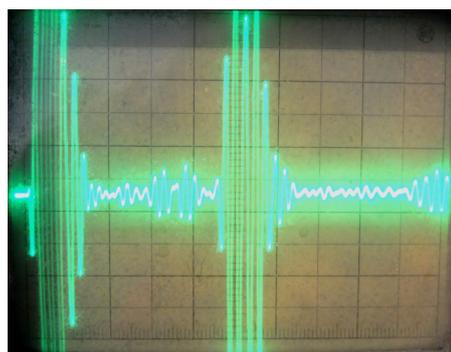


图12 脱粘缺陷区波形

Fig.12 A-scan image of product with debonding defects

3 结论

(1)采用超声脉冲穿透法可有效检测结构/阻尼复合材料产品中复合材料与阻尼层间的脱粘缺陷;

(2)采用超声脉冲反射法可检测结构/阻尼复合材料产品中复合材料的分层、疏松等缺陷,同时对脱粘区用脉冲反射法能判断其处于哪一层脱粘。

采用超声脉冲穿透法和超声脉冲反射法相结合,可有效检出结构/阻尼一体化复合材料产品中的缺陷。

参考文献

[1] 任勇生,刘立厚.纤维增强复合材料结构阻尼研究进展[J].力学与实践,2004(1):9-16.

[2] 许砚琦.结构阻尼复合材料的研究及制备工艺[J].航空制造技术,2011(15):75-77.

[3] 马保全,周正干.航空航天复合材料结构非接触无损检测技术的进展及发展趋势[J].航空学报,2014(7):1787-1803.

[4] 王宝瑞,丁新静.纤维增强复合材料的无损探伤技术探讨[J].玻璃钢/复合材料,2014(4):91-94.

[5] 唐桂云,王云飞,吴东辉,等.先进复合材料的无损检测[J].纤维复合材料,2006(1):33-36.