

碳纤维复合材料蜂窝夹层结构的无损检测方法研究

唐桂云,王云飞,王宝瑞

(哈尔滨玻璃钢研究院,哈尔滨 150036)

摘要 本文介绍了碳纤维复合材料蜂窝夹层结构常见的内部缺陷,这些缺陷的存在将直接影响蜂窝结构的机械性能和工作性能,必须对其进行无损检测。利用超声脉冲反射法对其内部缺陷进行检测作了详细介绍,分别对复合材料蒙皮可能出现的分层、疏松和高空隙率缺陷及蒙皮与蜂窝夹芯之间界面的脱粘缺陷进行检测,对出现的波形进行分析,并判断波形产生的原因,认为超声脉冲反射法对碳纤维复合材料蜂窝夹层结构内部缺陷检测是一种行之有效的办法。

关键词 碳纤维复合材料; 复合材料蜂窝夹层结构; 超声脉冲反射法; 缺陷; 底波

Study on Nondestructive Testing for Carbon Fiber Composite Honeycomb Sandwich Parts

TANG Guiyun, WANG Yunfei, WANG Baorui

(Harbin FRP Institute, Harbin 150036, China)

ABSTRACT The inner defects in carbon fiber composite honeycomb sandwich parts were introduced in this paper. These defects will directly affect mechanical properties and working performance, so the nondestructive testing must be carried out. The testing for the inner defects using ultrasonic pulsed reflection was described in detail. Meanwhile, the potential delamination, puff, high void content and interfacial debonding between skins and honeycomb were separately tested. The wave patterns were judged and analyzed. It was thought that the testing using ultrasonic pulsed reflection for the inner defects of carbon fiber composite honeycomb sandwich structure was an effective method.

KEYWORDS Carbon fiber composite; Composite honeycomb sandwich structure; Ultrasonic pulsed reflection; Defects; Bottom echo

1 引言

随着空间技术的发展,卫星结构日趋大型、复杂和柔性化。蜂窝夹层结构由于具有较高的比强度、比刚度,较好的抗疲劳性能,良好的阻尼减震性能,以及结构的可设计性等优点,为卫星结构大量采用,甚至有的卫星完全采用蜂窝夹层结构作为主承力结构。

碳纤维复合材料蜂窝夹层结构是一种特殊的复合材料,即在两块强度和弹性模量较大的面层材料中间(称作面板或蒙皮)夹着厚而轻的蜂窝芯材,并采用胶粘剂在一定温度和压力下复合成一个整体刚性结构。固化成型后的蜂窝夹层结构不能直接观测其组合胶接情况,而且在制造和服役过程中容易形成缺陷,这些缺陷将直接影响结构件的工作性能,危及整体结构的安全,所以面板与芯材间要有足够的胶接强度,以承受剪切与拉伸应力。因此对碳纤维

复合材料蜂窝夹层结构进行无损检测是十分重要的。

2 碳纤维复合材料蜂窝夹层结构易出现的缺陷

碳纤维复合材料蜂窝夹层结构在胶接制造过程中往往会由于工艺原因产生各种缺陷,详见表1。

3 碳纤维复合材料蜂窝夹层结构的无损检测方法

常用的无损检测方法有X射线法、红外热成像法、声阻法和超声波探伤法等。X射线法检测直观可靠,但设备庞大,价格昂贵,且X射线对人体有伤害。红外热成像法具有非接触、实时、高效的特点,借助于物体的热辐射得到物体的热图来判别是否存在缺陷,但受周围环境温度的影响较大。声阻法检

测构件冲击损伤时,具有一定的局限性。超声波方法由于其穿透性强,操作简单,成本低,可以检测出气孔、脱粘、夹杂等大部分缺陷,是检测碳纤维复合

材料蜂窝夹层结构内部缺陷的一种简单、常用的方法。

表 1 碳纤维复合材料蜂窝结构常见的胶接缺陷和产生原因

序号	胶接缺陷	产生原因
1	芯子节点开胶	芯子局部节点强度偏低; 固化时芯子格孔间压差过大
2	蜂窝结构件的封边零件及芯子滑移	胶接件内外压差过大(泄漏试验后接通大气过快或抽真空固化等)
3	梁腹板变形	固化时真空加压系统故障; 梁的支撑芯模配合不良或变形(塑性变形或固化时弹性变形)
4	蜂窝胶接结构件大面积脱胶	真空袋漏气, 固化压力加不上; 胶接表面处理不良
5	碳纤维复合材料蒙皮分层	蒙皮缺乏必要支撑; 因装配不当而蒙皮架空
6	碳纤维复合材料蒙皮在定位处分层	蒙皮与金属骨架零件在固化时有定位钉连接, 两者的热膨胀差异引起蒙皮钉孔处局部挤压应力过度集中

4 超声脉冲反射法检测碳纤维复合材料蜂窝夹层结构内部缺陷的方法

蜂窝夹层结构由于结构的特殊性,所以无损检测方法不同于一般材料的检测方法。采用超声脉冲反射法检测碳纤维复合材料蜂窝夹层结构时,因超声波穿过底面后,能量减弱,反射波无法被探头接收,或接收的波也很弱。所以不适合用底面波来监测缺陷情况,这就必须对蒙皮两侧分别进行检测,才能全面检测碳纤维复合材料蒙皮和蜂窝之间界面的粘接情况。为了防止不合格零件进入产品,在粘接前先对碳纤维蒙皮进行检测,粘接后再对粘接面进行检测。

碳纤维复合材料蜂窝夹层结构属于高吸声材料,蜂窝夹层结构一般厚度较大,因此选用穿透能力强的仪器,低频探头,探头晶片直径必须大于蜂窝格子。如小于蜂窝格子,无法对粘接情况进行判断,如图 1 所示,探头放在该位置时检测的只是蒙皮的多次反射波,与脱粘时的反射波一致。探头晶片直径大于蜂窝格子时,如图 2 所示,探头无论怎么移动,检测的部位始终包含蜂窝格子与蒙皮的粘接面,这样才能够对粘接面进行检测,并能够对缺陷存在的部位进行准确判断。

5 缺陷的判定

5.1 碳纤维复合材料蒙皮的超声波检测

碳纤维复合材料蜂窝夹层结构的蒙皮一般较

薄,故选用高频探头,其内部缺陷主要有分层、疏松及空隙率超标等。下面列出复合材料蒙皮的五种检测结果:

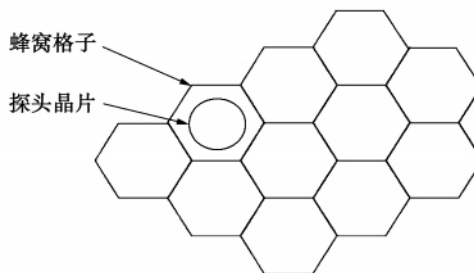


图 1 探头直径小于蜂窝格子

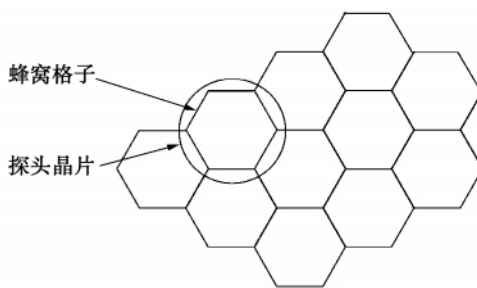


图 2 探头直径大于蜂窝格子

1) 蒙皮致密无缺陷

超声波探伤的波形如图 3(a) 所示,蒙皮底波高,灵敏度较高时可产生多次底波反射。

2) 蒙皮大面积(大于探头晶片直径)分层

超声探伤的波形如图 3(b) 所示,反射波相对底波发生跳跃式前移,底波消失,当探伤灵敏度较高时

可产生多次反射。

3) 蒙皮分层面积小于探头面积

超声探伤的波形如图 3(c) 所示, 底波降低, 在底波之前出现分层波。分层面积越小, 此反射波越低。

4) 蒙皮疏松

超声探伤的波形如图 3(d) 所示, 底波明显降低, 底波之前有丛状波。这些丛状波就是很多小分层或空隙造成的, 这些丛状波有些在同一层面上, 有些在不同层面上。

5) 蒙皮空隙率高

超声探伤的波形如图 3(e) 所示, 底波急剧降低甚至完全消失, 底波之前反射波也极少。这是因为蒙皮中的空隙对超声波有强烈的散射作用, 所以超声波很难穿透, 底波自然很低。

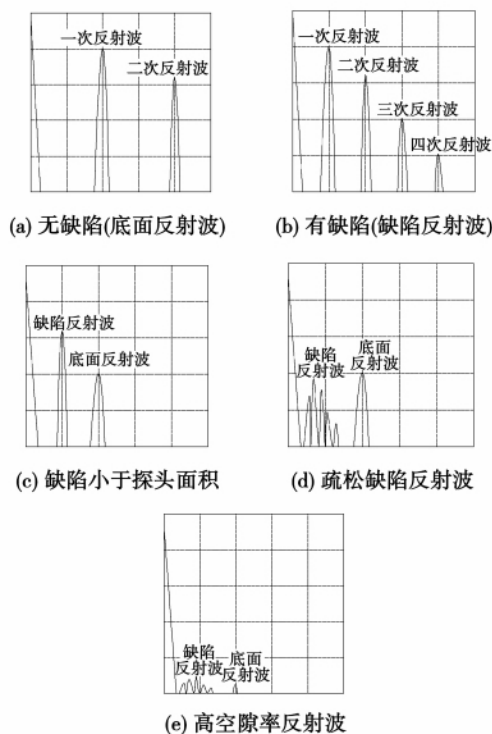


图 3 碳纤维蒙皮超声检测波形图

5.2 蒙皮与蜂窝夹芯之间界面的超声波检测

检测时选用蒙皮作为对比试块, 由于碳纤维蒙皮一般都很薄, 蜂窝芯材一般都很厚, 所以仪器检测厚度应调至大于蜂窝结构的厚度。

1) 胶接情况良好

如图 4(a) 所示, 部分超声波沿蜂窝透射穿过, 反射回探头, 另一部分超声波从碳纤维蒙皮底面反射后被探头接收, 所以蒙皮底波相应降低,

2) 碳纤维蒙皮与蜂窝脱粘

如图 4(b) 所示, 超声波将全部在碳纤维蒙皮底面产生反射, 这种情况和只检测蒙皮的波形一致, 入射脉冲信号在蒙皮内多次反射, 并维持较长时间, 信号衰减较为缓慢。用对比试块做对比就可以很容易地判断。

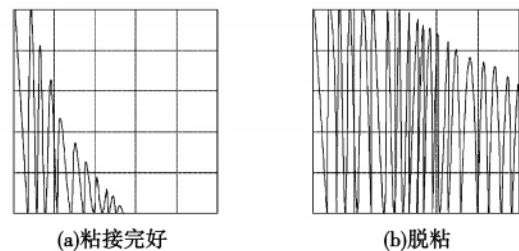


图 4 蜂窝夹层结构超声检测波形图

6 结 语

碳纤维复合材料蜂窝夹层结构由于其独特的机械性能越来越受到广泛的应用, 目前已大量应用在航空航天领域, 其内部缺陷的检测已受到广泛关注, 超声波脉冲反射法由于使用设备价格低、操作方便等优点应用在碳纤维复合材料蜂窝夹层结构内部缺陷的检测是一种行之有效的方法。

参 考 文 献

- [1] 赵渠森, 等. 先进复合材料手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 1103 - 1104.
- [2] 冯占英, 周正干. 蜂窝结构的超声和声无损检测技术[J]. 无损探伤, 2007, 31(6): 1 - 4.
- [3] 章令辉. 蜂窝夹层结构常见制造缺陷分析[J]. 航天返回与遥感, 2006, 27(1): 57 - 61.
- [4] 刘文霞, 沈京玲, 等. 玻璃钢蒙皮纸蜂窝材料的无损检测[J]. 无损检测, 2009, 31(12): 990 - 992.
- [5] 唐桂云, 王云飞, 等. 先进复合材料的无损检测[J]. 纤维复合材料, 2006, 23(1): 33 - 36.