整体模压绝热结构空气耦合超声波 C 扫描检测

刘 凯¹ 方文斌² 王晓勇¹ 夏美玲³

(1.湖北三江航天江北机械工程有限公司,孝感 432100; 2.火箭军装备部驻孝感地区第一军代室,孝感432100; 3.北京航天特种设备检测研究发展有限公司,北京 100074)



摘要:整体模压绝热结构是碳纤维缠绕壳体的重要抗冲刷、抗烧蚀和承压结构。采用空气 耦合超声波对整体模压绝热结构进行了检测试验。试验结果显示,空气耦合超声波 C 扫描检测 可有效检测出整体模压绝热结构内部 Ø10mm 及以上的分层、脱粘缺陷。使用的探头频率越高, 检测灵敏度越高,缺陷边缘越清晰。

关键词:整体模压绝热结构;空气耦合;超声波C扫描检测 中图分类号:TG115.28 文献识别码:A

Air-coupled Ultrasonic C-scan Testing of Whole Molded Insulation Structure

Liu Kai¹ Fang Wenbin² Wang Xiaoyong¹ Xia Meiling³

(1. Hubei Sanjiang Aerospace Jiangbei Machinery Engineering Co., Ltd., Xiaogan 432000;

2. First Military Representative of the Rocket Army Equipment Department in Xiaogan Area, Xiaogan 432000;

3. Beijing Aerospace Special Testing & Research Co., Ltd., Beijing 100074)

Abstract: As an important erosion resistant and pressure-bearing structure of carbon-fiber wound shell, whole molded insulation structure is widely used. The air-coupled ultrasonic testing experiments were carried out on whole molded insulation structure. The results show that the delamination and debonding defects of Φ 10mm or more in the whole molded insulation structure can be detected by air-coupled ultrasonic C-scan testing, the higher the probe frequency, the higher the detection sensitivity and the clearer the defect edge.

Key words: whole molded insulation structure; air-coupled ultrasonic; ultrasonic C-scan

1 引言

碳纤维缠绕燃烧室壳体是固体火箭发动机的重要 组成部分,燃烧室壳体在工作的过程中需承受高压和 高温冲刷、烧蚀。整体模压绝热结构是碳纤维缠绕燃 烧室壳体的重要抗冲刷、抗烧蚀和承力结构^[1]。主要采 用绝热橡胶材料和金属接头整体模压成型,在成型的 过程中由于橡胶的流动会产生分层、脱粘等缺陷。常 规的无损检测技术对其检测均不具备完整的有效性, 检测结果的可靠性低,人为影响因素较大。采用自动 化超声 C 扫描检测可全面、有效地对产品内部质量进 行检测,但由于整体绝热结构的主要组成橡胶,成型 后为软质、异型结构,常规接触式耦合和喷水耦合因 产品变形导致耦合不良,无法实现扫查和自动化检测。

2 空气耦合超声波检测特点

传统的超声检测需要采用耦合介质(如水、油等) 以使超声波有效传播到被检物质中。空气耦合超声检 测是通过使用特殊换能器在材料中激发和接收超声 波,检测过程中不使用传统的超声耦合剂,是将空气 作为耦合介质的一种非接触式超声波检测技术^[2]。具有

作者简介:刘凯(1992),工程师,测控技术与仪器专业;研究方向:无损检测技术与应用研究。 收稿日期:2021-07-12

非接触的特点,能够实现快速自动化扫查,检测结果 可有效减少人为因素影响,是工程领域复合材料无损 检测自动化、智能化的重要研究方向。

3 空气耦合超声波检测试验

3.1 人工缺陷试样制作

采用橡胶模压制作 1 块 200mm×200mm 的试样, 并在试样上分别采用贴纸法模拟制造 Φ10mm、 Φ20mm、Φ30mm 的分层、脱粘缺陷。

3.2 橡胶模压结构检测试验

由于超声波受到声波波长和频率影响在复合材料 中传播时衰减较大,一般采用穿透法对复合材料的分 层、脱粘缺陷进行检测。空气耦合超声检测实验系统 主要由控制系统、超声波收发器、前置放大器、空气 耦合超声探头等几部分构成,其系统组成如图1所示。



图1 空气耦合超声检测实验系统

超声波检测仪为PRACUT 双通道空气耦合超声波 检测仪,最大激发功率为 1200V,适配频率为 0.02~ 10MHz。

空耦探头:探头频率为采用 400kHz 的空气耦合探 头,其压电晶片选用特殊的材料制作,以降低压电晶 片的声阻抗,实现与空气有更好的阻抗匹配,减少能 量衰减。

将被测试件放置于发射和接收探头之间,探头正 对放置在橡胶两侧距表面一定距离处,调节探头的水 平位置使两探头轴线保持一致,同时调节好距离使接 收到的穿透波波形幅值达到最大。调节检测系统,分 别将探头对正试样的无缺陷部位和人工缺陷部位,观 察在两个部位空气耦合探头穿透波信号的透射情况, 其检测结果如图 2、图 3 所示。



图 3 人工缺陷的穿透波信号

试验结果显示,无缺陷部位穿透波信号为1000mV,人工缺陷部位穿透波小于20mV,说明采用 空气耦合超声检测,可有效识别出橡胶模压件内部的 分层、脱粘缺陷。

3.3 整体模压绝热结构空气耦合超声 C 扫描检测



图 4 整体模压绝热结构缺陷试样

由于空气耦合超声检测为非接触式检测,检测过 程中不受产品变形的影响,可实现橡胶模压制品的自 动化超声 C 扫描检测。在某模压绝热结构实物上截取 一段弧长约为 200mm 的试样,并在试样上分别采用贴 纸法模拟制造 Φ10mm、Φ20mm、Φ30mm 的分层、脱 粘缺陷,试块如图 4 所示。

分别采用频率为 200kHz 和 400kHz 探头对试样缺

陷部位进行空气耦合超声纵波穿透法 C 扫描检测,由 于检测探头的电压耐受值最大为 400V,超声检测仪的 激发电压设置为 400V,扫查增益为 30dB,扫描速度 为 60mm/s,采样步进为 0.4mm,不同幅值的接收信号 采用不同颜色显示。探头频率 200kHz 和 400kHz 的检 测结果分别如图 5、图 6 所示。



图5 频率200kHz检测结果



图6 频率400kHz 检测结果

当采用 200kHz 对试样检测时,可有效地检测 Φ10mm、Φ20mm、Φ30mm的缺陷,无缺陷部位穿透波 信号为 1000mV,有缺陷部位穿透波小于 20mV。当采 用 400kHz 对试样检测时,可有效地检测 Φ10mm、 Φ20mm、Φ30mm的缺陷,无缺陷部位穿透波信号为 200mV,有缺陷部位穿透波小于 20mV。对比 200kHz 和 400kHz 检测结果发现,采用 400kHz 检测时缺陷边 界比 200kHz 识别度高,Φ10mm 缺陷辨识度高于 200kHz,说明采用 400kHz 检测时检测灵敏度较高, 但接收到的穿透波声波幅值小于 200kHz。对产品检测 时,在保证声波穿透产品的前提下,可选择频率较高 的探头检测。

在某整体模压绝热结构中截取一段带有人工脱粘 层的试样,采用 400kHz 的探头检测,结果如图 7 所示。



图 7 人工脱粘层部位检测结果

图8中左侧区域为人工脱粘层与底层的粘接区域, 右侧区域为人工脱粘层的非粘接区域,结果显示可明 确区分出粘接区域与非粘接区域,且人工脱粘层根部 界限识别度高。

4 结束语

通过采用空气耦合超声 C 扫描对绝热结构试样检 测发现,该方法可有效检测出整体模压绝热结构 **Φ10mm** 及以上分层、脱粘缺陷,缺陷可检尺寸的大小 和边界。识别度与检测频率有关,检测频率越高检测 灵敏度越高,边界可识别度越高。但检测频率越高, 超声波的穿透能力越差,故在检测时应根据检测需求 合理选择检测频率。检测试样可有效识别人工脱粘层 及其粘接区边界,可对人工脱粘层的深度有效监测。

参考文献

- 秦锋,张崇耿,张新航,等.耐烧蚀三元乙丙橡胶绝热层材料的性能研 究[J]. 航天制造技术,2010(3): 26~28
- 2 沈建中,林俊明.现代复合材料的无损检测技术[M].北京:国防工业出版社,2016