

硅橡胶 - 钢粘接质量的超声检测

Ultrasonic Inspection of Rubber-Steel Bonding Quality

中航工业黎明航空发动机(集团)有限责任公司 董德秀 朱萍 柏镇 李永

[摘要] 采用与零件相同工艺设计制作了带有人工缺陷的试验件,对试验件进行超声脉冲反射法、穿透法检测试验,获得了试验件的 C 扫描检测结果图像。经对试验件进行机械、液氮冷冻两种方法解剖,获得了试验件粘接层质量真实信息,液氮冷冻解剖法更优。通过对超声 C 扫描检测结果与解剖目视检测结果对比分析,穿透法检测与液氮冷冻解剖结果相同。零件超声检测及解剖验证表明,穿透法更适合检查硅橡胶-钢粘接质量。

关键词: 硅橡胶 - 钢粘接件 超声波检测 脉冲反射法 穿透法

[ABSTRACT] Rubber-steel adhesive structure test pieces with artificial defects are made out in the same technology of actual part, which are inspected by pulse echo technique and transmission technique. The bonding of these test pieces are destroyed by two ways—laniating and freezing in liquid nitrogen. The C-scan images and the real situation of bonding of test pieces show that the freezing way is better to protect the features of the adhesive flaw and the transmission technique is much suitable to reflect the real situation of rubber-steel adhesive bonding.

Keywords: Rubber-steel adhesive structure Ultrasonic inspection Pulse echo technique Transmission technique

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.19.099

随着胶接技术的快速发展,胶接结构在航空、航天以及国防等重要领域中得到广泛应用,因此对胶接结构粘接质量的无损检测要求也越来越高。某新型发动机风扇包容机匣组件首次采用硅橡胶-钢粘接工艺制造,零件尺寸较大,粘接工艺不可避免地存在粘接不均匀、脱粘及密集型气孔等缺陷,发动机工作中硅橡胶与金属脱粘部位易出现鼓包,导致风扇叶片与机匣内壁刮磨,产生振动,同时会增大转、静子间隙,影响风扇性能,所以胶接结构件的粘接质量成为人们关注的焦点问题^[1]。采用先进的无损检测技术对风扇包容机匣组件粘接质量进行检测和评估,对飞机的安全飞行,具有重要意义。

1 超声检测方案

胶接结构的无损检测方法主要包括声振法、超声法、红外热成像法、激光散斑成像检测法等,其中超声法应用最为广泛^[2-3]。本文采用超声法进行硅橡胶-钢粘接质量研究。首先采用与风扇包容机匣组件相同材料及工艺制造硅橡胶-钢试验件,在试验件粘接层预埋聚四氟乙烯薄片模拟脱粘缺陷,对试验件采用脉冲反射法和穿透法分别进行超声波 C 扫描检测试验,获得超声 C 扫描检测结果图像,然后将试验件解剖,得到了解剖后粘接层的真实信息,比较试验件超声波 C 扫描检测结果与解剖后粘接层实际结果,通过分析检测结果确定超声波检测工艺。按确定的检测工艺对风扇包容机匣组件零件进行超声波检测试验,获得超声 C 扫描检测结果图像,并对试验后的零件解剖,比较零件超声 C 扫描检测结果与解剖后粘接层实际结果,验证风扇包容机匣超声检测工艺可行性。

2 试验件的超声检测

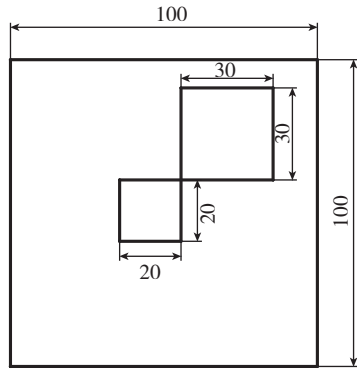
2.1 试验件的制备

风扇包容机匣组件是采用胶粘剂将风扇易磨环(硅橡胶)与风扇包容机匣(钢)粘接成组件。采用与零件相同的材料、工艺制造 2 个试验件,在每个试验件的粘接层上分别预埋聚四氟乙烯薄片模拟脱粘缺陷。预埋的聚四氟乙烯薄片尺寸分别为: 20mm × 20mm、30mm × 30mm,聚四氟乙烯薄片厚度 0.1mm,聚四氟乙烯薄片采用两层以保证脱粘缺陷的形成,试验件人工缺陷位置及尺寸设计图见图 1。

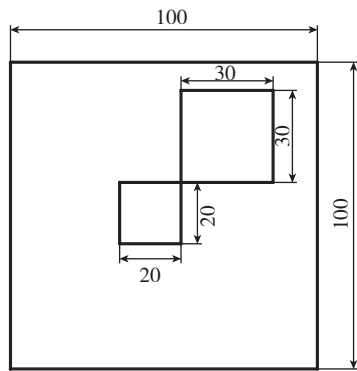
2.2 试验件超声脉冲反射法检测

脉冲反射法原理:探头发出的脉冲波通过水介质传播到试件内部,通过观察来自内部缺陷或试件底面的反射波的情况来对试件进行检测的方法^[4],脉冲反射法原理见图 2。脉冲发射法主要是检测硅橡胶与钢的粘接层缺陷,因此将闸门放在粘接层位置。

采用以色列 SCANMASTER 公司生产的 LS200 超声水浸检测系统,采用频率 5MHz,晶片直径 19mm,焦距 150mm 水浸点聚焦探头,硅橡胶侧作为超声波入射面,检测时采用平面扫描方式,X 轴为扫描轴,Y 轴为步

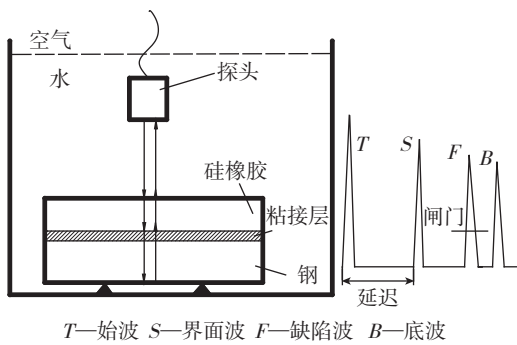


(a) 试验件 1



(b) 试验件 2

图1 试验件1、2人工缺陷位置、尺寸设计图 (mm)
Fig.1 Location and the size of artificial defects of the test piece1 and piece2 (mm)



T—始波 S—界面波 F—缺陷波 B—底波

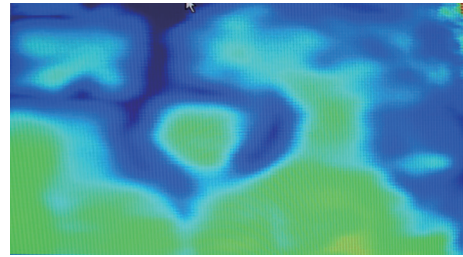
图2 脉冲反射法超声检测原理图

Fig.2 Illustrative diagram of pulse echo technique

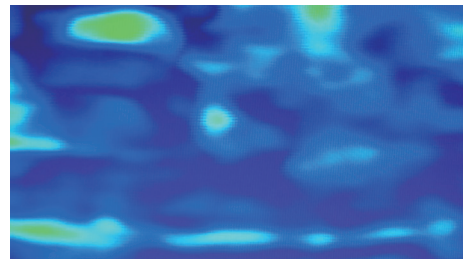
进轴,将探头焦点聚焦在试验件粘接层处,检测过程由计算机程序控制,试验件超声脉冲反射法 C 扫描检测结果见图 3。

2.3 试验件超声穿透法检测

穿透法检测原理:穿透法采用两只探头,分别放置在试件两侧,一个将脉冲波发射到试件中,另一个接收穿透试件后的脉冲信号,依据脉冲波穿透试件后能量的变化来判断内部缺陷的情况^[4]。穿透法检测原理图见图 4。零件粘接层有缺陷,穿透法表现为底波的变化,因此闸门监控底波。

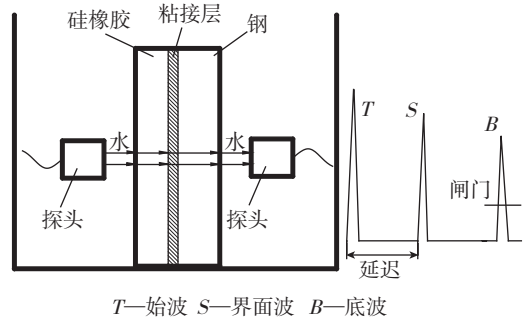


(a) 试验件 1



(b) 试验件 2

图3 试验件1、2脉冲反射法C扫描图像
Fig.3 Pulse echo technique C-scan of test piece1 and piece2



T—始波 S—界面波 B—底波

图4 穿透法超声检测原理图

Fig.4 Illustrative diagram of transmission technique

采用以色列 SCANMASTER 公司生产的 DS-200 超声喷水检测系统,采用频率为 1MHz、晶片直径为 19mm、焦距为 48mm 水浸点聚焦探头,硅橡胶侧探头发射超声波,钢侧探头接收超声波,检测时采用平面扫描方式, X 轴为扫描轴, Y 轴为步进轴,探头喷水耦合,发射探头与接收探头同步运行,试验件超声穿透法 C 扫描检测结果见图 5。

2.4 试验件解剖

为了验证脉冲反射法、穿透法超声检测结果的准确性,将试验件 1、2 解剖,比较两种检测方法 C 扫评定的缺陷尺寸与解剖后的试验件粘接层实际情况相符性。本试验采用两种方法解剖:一是机械解剖——通过外力将硅橡胶与钢金属“撕开”;二是液氮冷冻解剖——将试验件放在液氮容器里,通过调整冷冻时间,将试验件硅橡胶与钢金属分开。为了比较机械解剖及液氮冷冻方法解剖后的试验件粘接面情况,将试验件 1 采用机械

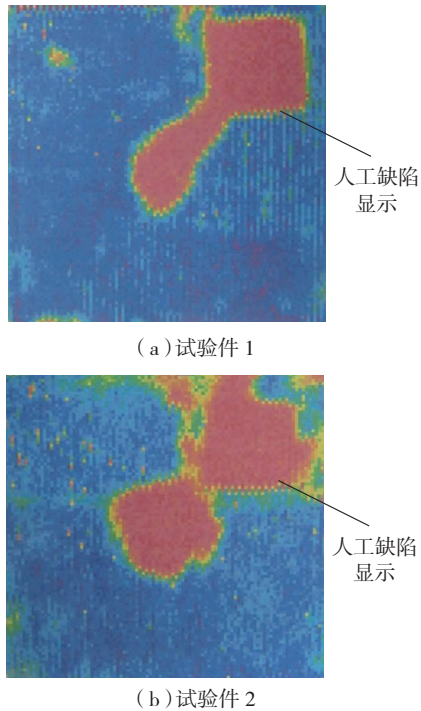


图5 试验件1、2穿透法C扫描图像

Fig.5 Transmission technique C-scan of test piece1 and piece2

解剖,解剖后粘接面情况见图 6; 试验件 2 采用液氮冷冻解剖,解剖后粘接面情况见图 7。

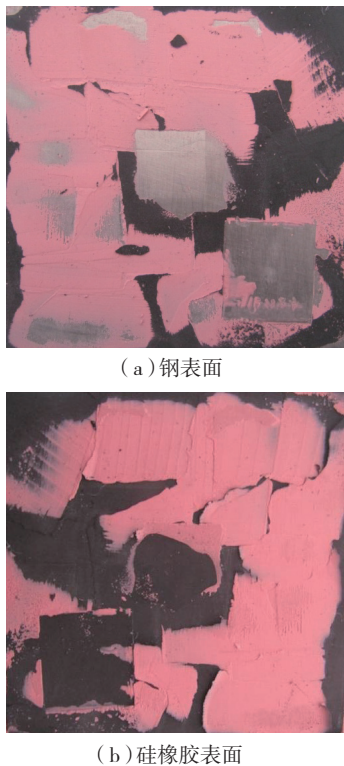


图6 试验件1机械解剖表面图

Fig.6 Real situation of steel-side and rubber-side of test piece1 in laniating way

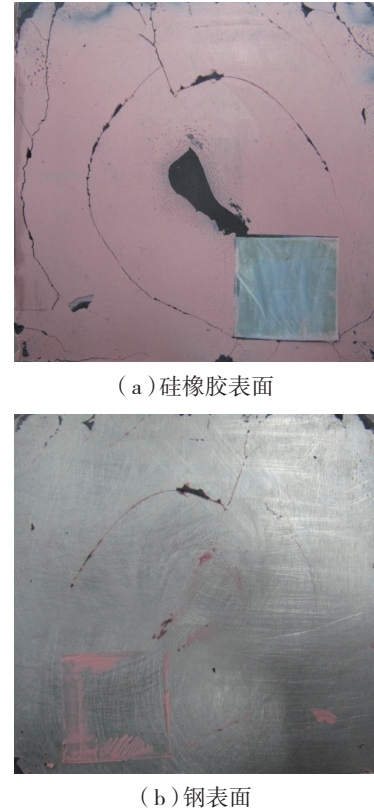


图7 试验件2液氮冷冻解剖表面图

Fig.7 Real situation of rubber-side and steel-side of test piece1 in freezing way

3 零件的超声检测

风扇包容机匣组件零件外廓尺寸约 $\phi 1.9\text{m} \times 0.38\text{m}$, 风扇易磨环(硅橡胶)粘接在风扇包容机匣内壁, 呈现黑色, 风扇包容机匣外部有 3 条加强筋, 零件局部图如图 8 所示。

由于试验件的超声脉冲发射法检测与试验件解剖

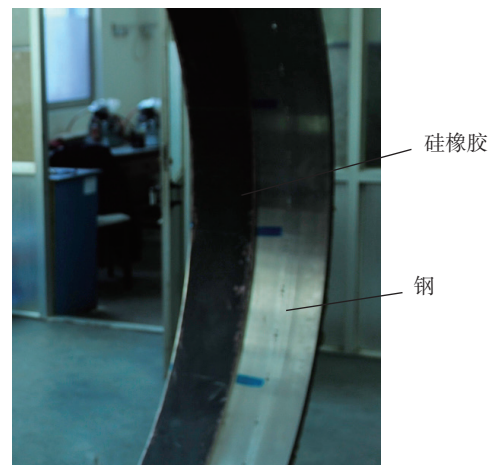


图8 风扇包容机匣组件局部图

Fig.8 Partial view of fan cartridge receiver

后的粘接面实际情况不同,脉冲发射法检测不能反应试验件粘接面缺陷的真实情况。因此,风扇包容机匣组件零件采用穿透法检测,采用的检测设备、探头及检测参数与试验件穿透法检测相同,零件穿透法 C 扫描检测结果见图 9,从图 9 超声 C 扫描检测结果可以看出,零件局部有严重的脱粘缺陷。为了验证穿透法检测结果的正确性,将零件存在脱粘部位采用机械方法解剖(由于该零件尺寸较大,液氮冷冻解剖无法实施),解剖后的粘接面情况见图 10。

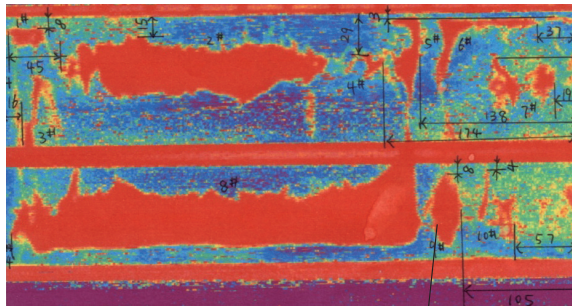


图9 风扇包容机匣组件穿透法检测超声C扫描图

Fig.9 Transmission technique C-scan of fan cartridge receiver



图10 风扇包容机匣组件机械解剖图

Fig.10 Real situation of fan cartridge receiver in laniating way

4 检测结果分析

4.1 试验件的超声检测

4.1.1 脉冲发射法检测结果分析

从图 3 试验件脉冲反射法 C 扫描检测图像及图 6~7 解剖后的粘接面实际情况来看,脉冲反射法检测结果与解剖后粘接面实际情况差异很大。因为脉冲反射法比穿透法多了 1 倍声程,零件衰减严重,没有底波,脉冲反射法闸门只能监控粘接面位置。对于密集性气孔缺陷,没有反射波,反应在底波降低,因此,超声 C 扫描检测结果不能完全反应零件粘接层的真实情况。

4.1.2 穿透法检测结果分析

从图 5 试验件穿透法 C 扫描检测图像与图 6~7 解

剖后的粘接面实际情况来看,穿透法检测结果与解剖后粘接面实际情况几乎相同。

(1) 超声穿透法检查 1 号试验件,图 5 (b) 中的较规则缺陷 C 扫描缺陷显示尺寸为 $28\text{mm} \times 29\text{mm}$,机械解剖后测量缺陷尺寸为 $30\text{mm} \times 30\text{mm}$;不规则缺陷 C 扫描显示类似圆形,但从解剖后的粘接面实际情况来看,机械解剖破坏了不规则缺陷的具体粘接情况,不易比较。

(2) 超声穿透法检查 2 号试验件,图 5 (b) 中超声 C 扫描检测的缺陷评定尺寸为 $30\text{mm} \times 29\text{mm}$,液氮冷冻解剖后检测缺陷尺寸为 $30\text{mm} \times 30\text{mm}$ 。由于制造工艺的原因,另一缺陷形状不规则,但穿透法检查 C 扫描缺陷形貌与液氮冷冻解剖后缺陷形貌几乎完全相同。

4.1.3 解剖结果分析

1 号试验件机械解剖,从图 6 可以看出,外力工具破坏了粘接面真实情况;2 号试验件液氮冷冻解剖,从图 7 可以看出,试验件粘接面平整,更接近真实情况。

4.2 零件的超声检测

从图 9 可以看出,零件的超声 C 扫描显示中有 8 处缺陷,2 处大缺陷,6 处小缺陷。2 处大缺陷超声 C 扫显示与机械解剖后的结果几乎相同,6 处小缺陷由于机械解剖所用工具对粘接面有所破坏,无法与 C 扫描图像比较。图 9 上规则的 3 条红色显示为零件的 3 条筋的结构显示。

5 结论

(1) 硅橡胶-钢粘接质量超声波脉冲反射法检查,其声程是穿透法的 2 倍,超声波衰减严重,超声波 C 扫描结果不能完全反映零件粘接缺陷的真实情况。

(2) 硅橡胶-钢粘接质量超声波穿透法检查,其声程是脉冲反射法的 1/2,底波 C 扫描结果反映了零件粘接缺陷的真实情况,缺陷尺寸评定更接近真实值。

(3) 液氮冷冻解剖与机械解剖相比,液氮冷冻解剖其粘接层表面更平整、易观察、更接近真实情况。

(4) 采用穿透法可以检测风扇包容机匣组件粘接质量。

参考文献

- [1] 杨晓翔,张永弘,曲宝. 橡胶-钢双材料界面断裂韧性的实验测定. 大庆石油学院学报,1998,22(4):63-65.
- [2] 朱波,蔡珣,王成国,等. 声发射特性与材料断裂韧性相关性研究. 物理学报,2003,52(8):1960-1964.
- [3] 李建国,王增勇,孙朝明,等. 粘接质量成像检测研究. 中国胶粘剂,2010,19(6):1-3.
- [4] 国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材编审委员会. 超声检测,北京:机械工业出版社,2005. (责编 叶枫)