

# 航空发动机三支点轴承件的超声波检测技术

王 玲

(沈阳发动机设计研究所, 沈阳 110015)

**摘 要:** 某航空发动机三支点轴承件因内部锻造缺陷导致内圈金属轨道脱落。通过对该轴承件的结构分析与相关试验得出: 需要相关的检测技术及相应的验收标准参考, 并采用特殊的探头和试块, 使用高灵敏度的水浸超声聚焦检测技术, 可以保证有效地检测出轴承件内部的锻造缺陷。

**关键词:** 轴承; 无损检测; 高灵敏度

**中图分类号:** TG115.28      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-6656(2015)06-0050-03

## Ultrasonic Testing of Three Pivot Bearings in Aircraft Engine

WANG Ling

(AVIC Shenyang Engine Design Institute, Shenyang 110015, China)

**Abstract:** The internal defects of three pivot bearings in aero engine shall lead to inner metal rail off. Through the analysis of the structure of the bearing member and the related experiments it was found that the testing of the bearings needed for corresponding detection technique and reference to acceptance criteria. Using a special probe and test block, and using ultrasonic immersion focusing detection technology of high sensitivity can effectively guarantee the detection of defects in the inner portion of the bearing member.

**Keywords:** Bearing; Nondestructive testing; High sensitivity

某航空发动机三支点轴承件在使用时出现内圈金属轨道脱落, 造成滑油污染, 堵塞滑油滤网, 引起滑油传感器报警, 影响发动机使用。经分析内圈金属脱落为零件内部锻造缺陷扩展所致, 而该零件在装机前未进行无损检测。因此, 为了保证轴承轨道及其内部质量, 需对其进行无损检测。

在目前的五大常规检测方法中, 渗透、磁粉和涡流检测法主要是检测表面及近表面缺陷, 因此, 不考虑采用这三种方法。射线检测, 虽然对零件结构没有特殊要求, 且检测灵敏度较高, 但不适合检测锻造类缺陷, 容易造成漏检。基于以上考虑, 只有采用超声波进行检测。

由于目前国内还没有现行的轴承钢无损检测标准可供参考, 而且以前该三支点轴承件一直未进行过无损检测, 因此采用超声波检测存在以下几个问题:

第一没有相关的检测技术及相应的验收标准可

供参考, 需要试验及分析以确定具体的检测技术及相关参数。

第二为了防止后续零件出现内圈金属轨道脱落的现象, 在检测试验过程中, 需要采用高灵敏度检测技术, 以保证检出所有微小缺陷; 需要采用特殊的探头和试块。这都对检测的实施带来极大的挑战。

第三装机后返厂零件形状复杂。内圈已经加工相应的轨道, 致使零件形状复杂, 给检测带来了诸多困难。

笔者通过试验确定了超声波检测参数, 对比试块, 检测工艺, 并对试验结果进行了验证, 证明了超声波检测该工件的可靠性。

## 1 检测技术的确定

### 1.1 三支点轴承件的结构特点

三支点轴承件属于环形件, 其主要尺寸和结构如图 1 所示。毛坯状态时内外壁表面光滑, 上下端面平行, 表面加工余量较小, 约为 2 mm。成品状态时壁厚较小, 且内壁加工轨道, 带有曲率很小的圆弧面。

收稿日期: 2015-01-15

**作者简介:** 王 玲(1978—), 女, 本科, 高级工程师, 主要从事发动机管理工作。

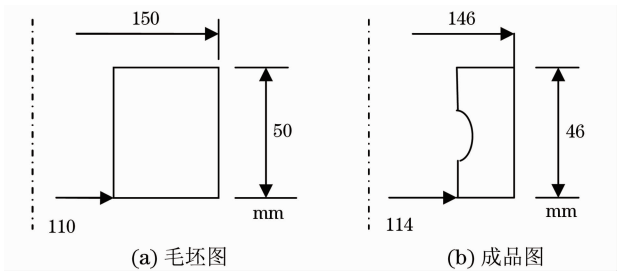


图 1 三支点轴承结构图

1.2 超声波检测技术的选择

环形件超声波检验一般采用接触法或者水浸法<sup>[1]</sup>。

随着计算机技术的进步,水浸法在实现自动化检测、减少人为因素影响、提高检测可靠性等方面的优势,越来越为人们所认知。因此,对重要零件进行高分辨力、高灵敏度和高可靠性的检测时,更多的选择超声波水浸法进行检测。

该三支点轴承件材料为轴承钢,材料内部缺陷较小,表面加工余量仅为 2 mm,必须采用高灵敏度、高分辨力的检测技术,以保证所有微小缺陷的检出。因此,宜采用水浸法进行检测,如图 2 所示。

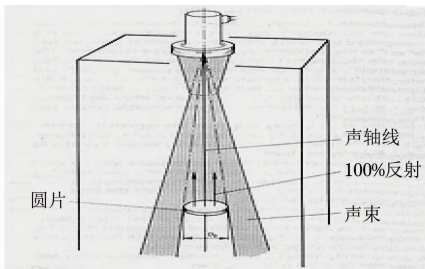


图 2 水浸法检测的原理图

为检测材料中的微小缺陷,提高小缺陷反射超声信号幅度和信噪比是关键要素<sup>[2]</sup>。为此笔者采用了超声聚焦检测技术。由于聚焦声束在聚焦区能量集中度较高,声压提高较明显,因此小缺陷反射幅度高;其次,基体材料被声束穿过部分的体积较小,相对应引起的散射噪声也较小,因此信噪比也较好,这样可明显提高小缺陷检测的灵敏度和信噪比。

综上,水浸聚焦检测技术可很好地满足三支点轴承件高灵敏度、高信噪比的检测要求。

2 超声波检测参数选择

2.1 探头参数

2.1.1 超声波检测频率

超声波检测频率是超声波对缺陷探测能力的主要决定因素<sup>[3]</sup>。频率高时,因其波长短、声束窄、扩散角小、能量集中,因此发现小缺陷的能力强,横向

分辨力好,缺陷定位准确。

几种常用水浸探头的参数如表 1 所示。由于三支点轴承件厚度和余量较小,为提高信噪比,适合选择 10 MHz 的频率进行探伤。

表 1 常用水浸探头参数

探头型号	频率 /MHz	检测范围 /mm
IX-0519GB	5	3.20~50.80
IHM	5	6.35~101.60
HGE-5827-A	10	1.50~38.10

2.1.2 探头的类型

声透镜加上水浸平探头则可产生聚焦声束,组成聚焦探头。聚焦可使声束在一定范围深度内直径变窄,声强增高,也可使部分区域的检测灵敏度、信噪比及横向分辨力参数提高,同时还可提高 C 扫描检测中的图像分辨率。聚焦探头的能量集中,发现小缺陷的能力强。

2.2 检测仪器

由于采用高频水浸聚焦检测技术,因此选择的检测设备应具有较宽的频带宽度及低噪声电平,发射脉冲可调为窄脉冲和高阻尼。为了对零件实施完全的检测,检测设备应能够方便三支点轴承件的装夹;系统至少具有 A 扫和 C 扫这两种显示模式,以方便缺陷的评定。

为此,选择了以色列 SCANMASTER 公司的盘环件超声水浸检测系统,型号为 LS200-LP,该系统精度高,具有专业化的程序软件,适宜高灵敏度下环形件的水浸探伤。

2.3 对比试块

由于该三支点轴承件是首次进行超声波检测,且检测灵敏度高,需要采用同材料不同埋藏深度的一组对比试块来调节检测灵敏度。根据该三支点轴承件的加工余量和检测厚度,最终采用 4013316-417 试块组,如图 3 所示。试块内埋藏的平底孔孔径为  $\phi 0.4$  mm,孔深范围 1.5~40 mm。

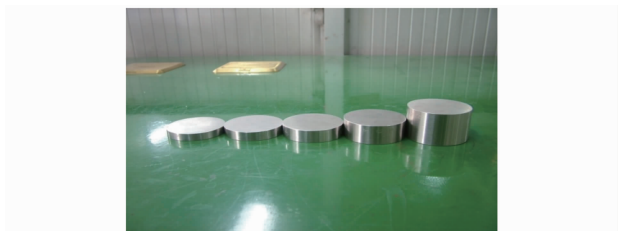


图 3 4013316-417 对比试块组外观

2.4 检测面

选择检测面应最先考虑缺陷的最大可能取向。若缺陷的主反射面近似平行于试件的某一表面,应

选择从此表面入射的垂直入射纵波,达到缺陷的主反射面与声束轴线接近垂直,这样检测缺陷最为有利。但是三支点轴承件的缺陷主要是沿着平行于圆周的方向分布,因此,宜采用从外圆方向垂直入射的纵波进行检测。

### 3 超声波检测工艺

#### 3.1 检测灵敏度的调整

将 4013316-417 试块组的 6 个试块(缺陷埋深分别为:1.52,3.18,6.35,12.7,25.4,38.1 mm)按照厚度由小到大的顺序依次摆放在试块架上。将 HGE-5827-A 探头置于第一个试块上,将最浅孔(埋深 1.52 mm)的最高反射波高调至 80%,此时灵敏度为基准灵敏度,此后不改变基准灵敏度,记录其余各孔的波高达到 80%时的增益值,完成 TCG 曲线的绘制。

曲线制作完毕后,为了达到较高的检测灵敏度(一般不低于  $\phi 0.4 \sim 10$  dB),需再将增益提高 10 dB。

#### 3.2 缺陷的识别与评定

为防止漏检,检测时对波高超过 30% 的显示信号进行记录,包括缺陷的埋深,大小并在零件上定位,标记出缺陷表面位置。

对三支点轴承件进行超声波检测,显示方式为两种:A 扫描和 C 扫描。

A 扫描方式:采用直角坐标系来显示超声信号幅度与传播时间的关系,纵坐标为信号幅度,横坐标为时间。由于水浸法检测的传播介质是水,水是均质材料,则超声波在水中传播声速是恒定的,因此传播时间可转变为传播距离。因此,可以从 A 型显示中得到反射面距入射面的距离(纵波垂直入射检验时显示缺陷的深度),及回波幅度的大小(用来判断缺陷的当量尺寸)。轴承超声波检测的方向是沿轴向扫查,从 A 型显示中可读出缺陷的埋深和当量大小,如图 4 所示。

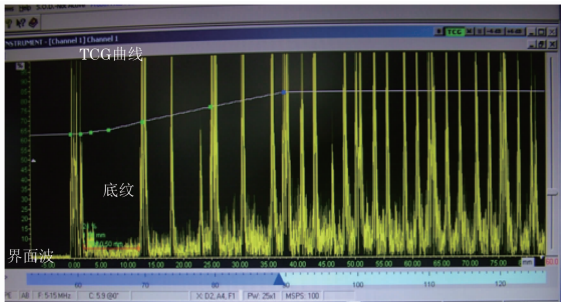


图 4 三支点轴承件的 A 扫描信号图

C 扫描方式:采用试件的平面投影图,利用探头对该试件表面进行二维扫查,探头的扫查位置对应显示屏的二维坐标。探头的每一移动位置,采用电子门对应选出某一深度范围的信号幅度,信号的幅度大小可用亮度或颜色表示,并在对应的探头位置上显示,最终可得到某一深度范围缺陷的二维形状与分布。

扫描图像底部有一条色带,不同的颜色代表不同大小的信号幅度。如果零件内部无缺陷或者材质均匀,则 C 扫描图像的显示会很均匀,颜色也基本相同。反之,若在 C 扫描图像上发现局部颜色与周围呈现的颜色不同的部位,则需将探头移动到该反射信号处,结合其 A 扫描图像进行评定,若 A 扫描图上界面波和底波之间有反射波存在,则一般被认为是缺陷反射信号,此刻探头的位置即认为是缺陷所在部位,如图 5 所示。

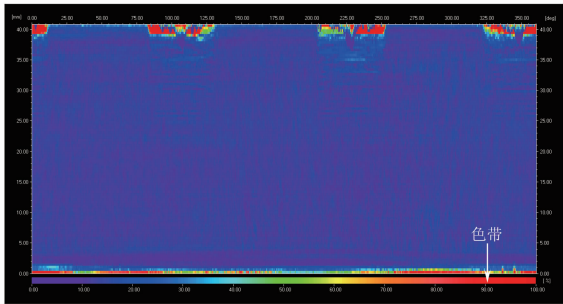


图 5 三支点轴承件的 C 扫描缺陷反射信号图

#### 3.3 检测结果

检测对象为 80 件三支点轴承件。检测结果为该 80 件三支点轴承件采用超声法水浸法聚焦检测,其中 45 件合格,35 件发现有明显的缺陷信号。缺陷件的 C 扫描图像如图 6 所示。

图 6 缺陷埋深为 3.35 mm,距边缘位置为 34 mm,当量大小为  $\phi 0.4 \sim 8$  dB,且该缺陷显示信号成片状显示,为密集型缺陷。对该缺陷件进行理化失效分析,检测结果为夹渣缺陷。

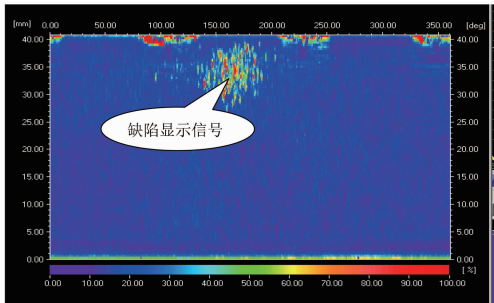


图 6 存在缺陷的三支点轴承件 C 扫描信号图

(下转第 85 页)