

失效模式为疲劳断裂。

(1) 故障件没有发现明显的塑性变形痕迹, 包括断裂部分的箱体外形和螺栓孔内径的椭圆度变化;

(2) 故障件断裂裂纹(或断口)的匹配程度良好;

(3) 断口微观分析发现, 有比较典型的疲劳条带和疲劳台阶等疲劳特征;

根据下列情况认为, 该轮传动箱的疲劳断裂属于一般的疲劳断裂, 即不属于腐蚀疲劳断裂。

(1) 断口宏观颜色为单一的暗灰色, 没有发现颜色不同的腐蚀区域;

(2) 断口表面没有发现腐蚀产物形貌;

(3) 断口表面的能谱分析表明, 其表明成分与基体的成分相同。

根据下面情况认为, 该齿轮箱体的疲劳断裂不是由于材质原因引起疲劳断裂。

(1) 材料的化学成分、组织、力学性能均符合技术要求;

(2) 断口的微区分析表明, 断裂源区未发现冶金夹杂物。

根据下列情况, 认为疲劳源的性质始于微动磨损<sup>[1,2]</sup>。

(1) 螺纹表面有大量的磨蚀坑、磨蚀损伤, 乃至于磨蚀痕迹等磨蚀的特征;

(2) 疲劳源起始于磨蚀坑等处;

(3) 磨蚀坑的氧化铝含量较高, 且没有发现其它的冶金缺陷。

### 5.2 裂纹产生过程分析

钢制螺栓和螺栓孔之间相匹配的每对螺纹, 在预紧力的作用下, 成为紧密接触的固体匹配面, 在外加应力的作用下, 匹配面之间产生了微区的往复滑动, 在往复滑动过程中, 较软的铝合金螺栓孔螺纹表面被磨损, 产生了微坑, 粗糙表面接触形成了微裂纹。螺栓表面机械加工质量偏低, 在大修中螺栓往复装拆及预紧力控制不当等造成的螺纹表面啮伤、挤压等促进了磨损的产生。这些微坑是多发的、不均匀的分布在螺纹牙的工作表面上, 其中某些裂纹在外加交变应力作用下, 得到了扩展, 并形成主裂纹。裂纹在萌生、扩展的初始阶段, 热应力起到了重要的作用, 交变热应力的来源是钢、铝在齿轮箱体工作温度的膨胀趋势使螺栓膨胀, 螺栓孔内径有可能缩小, 因此, 箱体工作时, 螺栓和螺栓孔之间的实际过盈量加大, 从而使螺栓孔承受的径向应力增大。

## 6 预防断裂的措施

(1) 降低螺栓孔机械加工的粗糙度, 尽可能减小加工刀痕, 降低螺栓的表面粗糙度, 减小螺栓拧入时造成的啮伤, 并建议在装配时, 加润滑剂, 尽可能减小不必要的装配损伤;

(2) 尽一切可能减小箱体在工作时的振动, 以减小其交变应力;

(3) 对箱体结构中某些薄弱环节进行适当的加强, 改进支架, 减小甲板支架和箱体之间的振动。

## 7 结论

(1) 齿轮传动箱箱体的断裂模式是疲劳断裂, 疲劳源的性质为微动疲劳, 造成微动疲劳的原因与材质、环境介质无关。

(2) 引起疲劳断裂的外力来源是螺栓孔和螺栓之间过盈配合导致在软的铝合金螺纹孔表面产生微动磨损和工作温度下引起的热膨胀应力以及箱体在工作过程中的振动。

(3) 螺栓孔的机械加工质量不高和螺栓装配时的啮伤等是造成疲劳断裂的诱发因素之一。

(4) 由于箱体的结构设计中有薄弱环节, 使得疲劳裂纹沿最大应力, 即最薄弱环节处扩展以至发生断裂。

(5) 为了进一步防止断裂事故的再次发生, 建议要尽可能避免螺栓孔之间过大的过盈配合, 同时, 还要应尽可能提高螺栓和螺栓孔的机械加工精度和光洁度, 并采用润滑剂装配, 尽可能减小螺栓孔表面的啮伤或其它损伤。

\*\*\*\*\*

## 钛合金钎焊新工艺

在化工与航天工业中, 需要研制一种  $\beta$ Ti 合金用的钎焊材料, 合金是  $\beta$ 21S 合金 (Ti-15Mo-3Nb-3Al)。在真空炉中进行钎焊时所用的钎焊料为 Ti-20Co-20Ni-20Zr。研究了三种不同的钎焊工艺, 即: 905 5min; 905 10min 和 932 5min。

用光学显微镜及 SEM、EDS、XRD 对接头显微组织与存在的各相做了测定。用双搭接板状试样做接头强度测定, 并对接头与钎焊区中的开裂倾向做了评估。

钎焊过程中, 显微组织并无变化, 但在金属基体与钎焊填料界面上由于生成了金属间化合物而造成基体金属的轻微腐蚀。

接头显微组织主要由基体相(母相)和块状分布的第二相组成, 二者均为金属间化合物。焊接样上未发现开裂。

(王庆绥)