

浅谈航空发动机叶片叶尖间隙检测技术分析

吕佳 李泽洲

(河北省邯郸市永年区海翔机械厂 河北 邯郸 057150)

[摘要]航空发动机是一个国家工业实力的重要体现,同时也是科学技术的结晶。做好航空发动机的加工制造对于提升一个国家的航空实力有着极为重要的意义。在航空发动机的制造过程中,叶片是航空发动机中极为重要的一环。航空发动机叶片修理检测包含检测前处理、目视、无损、叶型精测、叶尖间隙检测以及后期修复等工作,本文主要研究叶型精测和叶片叶尖间隙检测技术。

[关键词]航空发动机;叶尖间隙;检测技术

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.04.1014

1. 检测前的处理

叶片类零件分为压气转子叶片、压气机整流叶片、涡轮导向器叶片、涡轮工作叶片等。其中涡轮叶片涡轮叶片表面黏附有燃料燃烧后的沉积物以及涂层和(或)基体经过高温氧化腐蚀后所产生的热蚀层,一般统称为积炭。积炭致使涡轮效率下降,热蚀层会降低叶片的机械强度和叶片表面处理的工艺效果,同时积炭也掩盖了叶片表面的损伤,不便于检测。因此在实施修理工艺之前进行必要的预处理和检测,以清除其表面的附着杂质,建议使用水吹砂法。

2. 叶片检验检测

2.1 目视检查

准备好十倍放大镜、手电筒及探针等。叶片注意检查擦伤、划伤、凹坑、裂纹等故障,尤其是进气边、排气边和叶尖等位置,需要重点检查。

2.2 无损检测

在修理前,使用先进的检测仪器对叶片的叶型完整性和内部结构进行检测,以评估磨损、烧熔、腐蚀、掉块、裂纹、积炭和散热孔堵塞等损伤缺陷情况,从而指导叶片的具体修理工艺。

目前,CT已经成为适用于测量涡轮叶片壁厚和内部裂纹的主要方法。一台CT机由X辐射源和专用计算机组成。检测时,辐射源以扇形释放光子,通过被检叶片后被探测器采集。其光子量和密度被综合后,产生一幅二维层析X光照片,即物体的截面图,从中分析叶片内部组织结构,得出裂纹的准确位置及尺度。连续拍摄物体的二维扫描,可生成数字化三维扫描图,用于检测整个叶片的缺陷,还可检测空心叶片冷却通道的情况。CT可检测到10-2mm级的裂纹。

2.3 叶型的精确检测

叶型的精确检测可使用接触式测量和非接触式测量

2.3.1 接触式测量

接触式测量一般使用三坐标测量机,是一种高精度的三维空间检测设备,具有检测精度高、检测重复性好、自动化程度高等优点,适合叶片类复杂曲面的精密测量。近年来,随着我国航空工业的发展,三坐标测量机在叶片生产厂家已经较为普及,且开发出专用于叶型检测的测量系统,可自动检测叶身的几何形状,并与标准叶型比较;自动给出偏差检测结果,来判断叶片的可用度和所需采用的修理手段。

2.3.2 非接触式测量

非接触式测量是指不接触被测物体的前提下进行精准测量。其测量精度可以达到 μm 。非接触式测量仪利用CCD采集变焦镜下样品的影像,再配合XYZ轴移动平台及自动变焦镜,运用影像分析原理,通过计算机处理影像信号面对叶型进行精密几何数据的测量。

2.4 叶片叶尖间隙检测

2.4.1 超声波法

超声波传感器测量法是即时叶尖间隙测量的最佳选择。该方法有很多优点:它适应于金属和非金属叶片;允许非接触测量;能在恶劣环境下工作;安装便捷;它属于数字测量,适用于先进的数字控制系统。超声波传感器能够生成兆赫兹超声波,能在高温条件下工作,包括一个大功率脉冲发生器/接收器和一个高速数据处理系统,因此超声波传感器能够实现即时

间隙测量。

2.4.2 激光法

激光光学测量法的特点是:不受转子叶片本身材料的限制,各种转子叶片都可测量,适用于精度高、频响快、高温涡轮叶尖间隙测量;能在恶劣的环境下工作,适用于静态和动态的实时检测;成本低、光纤探头体积较小、易安装等。它适宜用于试验机中的测量而不宜于长期运转的实际燃气轮机,宜测叶尖最大间隙值而不宜于单个叶尖间隙值或平均值。因此,激光光学测量法的主要技术工作是设法解决反射光量减小的问题。

3. 叶片修理技术

3.1 表面损伤的修理

如果经检验,叶片表面的微小裂纹或者由烧蚀、腐蚀所导致的缺陷尺度在允许修理范围内,则对其进行修补。目前先进的修补方法有以下几种。

一是活化扩散愈合法。其原理及工艺特点是借助低熔点焊接合金把高温合金粉末“注入”裂纹中,通过液相烧结使焊接合金同时向高温合金粉末和基体金属中扩散,从而使裂纹得到愈合。

另外一种方法是激光熔覆,是利用一定功率密度的激光束照射(扫描)覆于裂纹、缺陷处的合金粉末,使之完全融化,而基材金属表层微熔,冷凝后在基材表面形成一个低稀释度的包覆层,从而弥合裂纹及缺陷。

3.2 叶顶的修复

对于叶片受损(主要是磨损、腐蚀和硫化)的顶部,可用等离子电弧焊及钨极惰性气体保护焊来修复,即先堆焊上合适的材料,再磨削到所要求的叶片高度。

3.3 喷丸强化

喷丸是以高速弹丸流撞击受喷工件表面,在受喷材料的再结晶温度下进行的一种冷加工方法。叶片喷丸强化可提高抗疲劳和抗应力腐蚀性能。它是利用高速弹丸在撞击叶片时,叶片表面迅速伸长,从而引起表层材料在一定深度范围内的塑性流动塑性变形。

3.4 涂层修复

许多性能先进的航空发动机涡轮叶片已应用涂层技术提高其抗氧化、抗腐蚀、耐磨、耐高温性能以及涡轮的气动效率,但叶片在使用过程中涂层会不同程度地缺损,因此,在叶片修理时都要对防护涂层进行修复,一般都要将原涂层剥落,重新涂覆新的涂层。

4. 结束语

由于叶片工作环境恶劣、合金材料价格贵,其机械状态检测和修理受到航空动力界更多的重视。多年的实践表明,先进的修理技术在航空发动机叶片的维修中的广泛应用,在很大程度上有效提高了发动机的航线工作可靠性,降低了全寿命费用。当然,采用何种检测技术及修理工艺,也要充分考虑维修的经济性,因此,工艺复杂的维修技术一般只用于合金材料昂贵、制造工艺难度大的叶片。

参考文献

[1]刘晶.叶片数字化检测中的模型配准技术及应用研究[D],博士学位论文,西北工业大学,2006年