

压气机转子叶片的磁粉检测

牟立颇

(沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司, 沈阳 110043)

摘要:压气机转子叶片是航空发动机中的重要零部件,有铁磁性和非铁磁性两种材料。针对转子叶片的特殊形状,通过分析比较,选择磁轭法对铁磁性转子叶片进行磁粉检测。通过试验确定了合适的磁粉载液及磁悬液浓度等工艺参数,并详述了磁轭法磁粉检测的程序和要求,为解决这类零部件的检测问题提供了参考。

关键词:压气机转子叶片;铁磁性;磁粉检测;磁轭法;裂纹

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2014)08-0057-03

Magnetic Particle Testing of Compressor Rotor Vanes

MOU Li-po

(Shenyang Liming Aero-Engine (Group) Corporation Ltd., Shenyang 110043, China)

Abstract: Compressor rotor vanes are important components in aero-engine and their composition materials include ferromagnetic and non-ferromagnetic. Aiming at the special shape of compressor rotor vanes, the method of yoke was adopted after analyzing and comparing for magnetization of ferromagnetic vanes. Proper technological parameters such as particle suspension vehicle and particle suspension concentration were acquired by experiment. The detailed test procedures and requirements were described, aiming to provide experiences for solving practical engineering needs.

Keywords: Compressor rotor vanes; Ferromagnetic; Magnetic particle testing; Method of yoke; Crack

航空发动机的压气机转子叶片工作时随盘高速旋转,处于高压、强离心力和强振动状态,工作环境恶劣;若叶片存在裂纹等缺陷损伤,极易成为疲劳源,高速旋转中一旦断裂将带来严重后果,因此必须对其进行检测。

磁粉检测是检测铁磁性材料制件表面和近表面缺陷最有效的无损检测方法之一。当铁磁性材料制件被磁化后,磁力线在表面或近表面缺陷处会产生畸变而形成漏磁场,漏磁场吸附施加在制件表面的磁粉,便能形成在合适光照下目视可见的磁痕,显示出缺陷的位置、形状和大小。笔者根据压气机转子叶片特点,结合实际检测经验,阐述如何选择和运用适宜的磁粉检测方法和检测工艺,对铁磁性转子叶片进行检测。

1 磁化方法的选取

航空发动机产品制造中,磁粉检测普遍应用的磁化方法主要有通电法、穿棒法、线圈法、磁轭法、感应磁化法。选取何种磁化方法需要结合制件的结构、形状、数量和检测要求等因素来考虑。压气机转子叶片的叶身型面为弧形面,叶根为榫槽结构,叶尖为斜面且较薄。若直接夹持通电,叶尖易产生变形和烧伤,故通电法不适用。而叶片为无孔结构,所以也无法采用穿棒法。感应磁化法则适合于环型件的检查。线圈法磁化的磁路中存在相当长的空气隙,磁通发散且损失较多,受退磁场影响,制件长径比(L/D)越小,磁化效果越差^[1]。与线圈法相比,磁轭法磁化时磁路中无空气隙或空气隙很小,磁通损失较少,磁化效果更好,故确定采用磁轭法对叶片进行检测。

2 电磁轭设备的选取

电磁轭设备分为固定极间式和便携式。固定

收稿日期: 2013-12-29

作者简介: 牟立颇(1982—),男,工程师,主要从事航空发动机零件的磁粉、渗透检测工作。

极间式电磁轭是将制件放置于磁轭的两个磁化极端子间,端子位置可以根据制件的大小进行调整,适合于中小制件的整体磁化检测;而便携式电磁轭适合于大型制件局部磁化检测,所以选择固定极间式电磁轭来检测转子叶片。磁化电流采用三相全波整流电(FWDC),可检测的缺陷深度更大。此外,两个磁化极端子截面需大于叶片截面,以保证叶片上具有足够的磁通势而获得较大的磁化场。

3 工艺参数的确定

(1) 磁化磁场强度 通过改变磁轭线圈中的电流来调节磁化时的磁场强度。为保证叶片得到足够的磁化,笔者采用美国磁通公司的 5170 型特斯拉计来测定磁化时沿叶片表面的切向磁场强度,确保其达到 2.4 kA/m 以上^[2],从而确定出所需的最小磁化电流值。

(2) 磁化方向 转子叶片是由棒料毛坯经过锻轧、粗加工、热处理、精加工等工序制造而成,缺陷主要有裂纹、折叠、夹杂等,但缺陷的取向是不确定的。磁轭法对于检测与两个磁化极连线相垂直的缺陷最敏感;当缺陷方向与两磁极连线之间的夹角小于 45° 时,检测灵敏度较低。因此,对叶片横向和纵向两个方向分别实施磁化,以保证叶片纵向、横向及其他方向的缺陷均能顺利检出。磁化转子叶片的示意图如图 1。

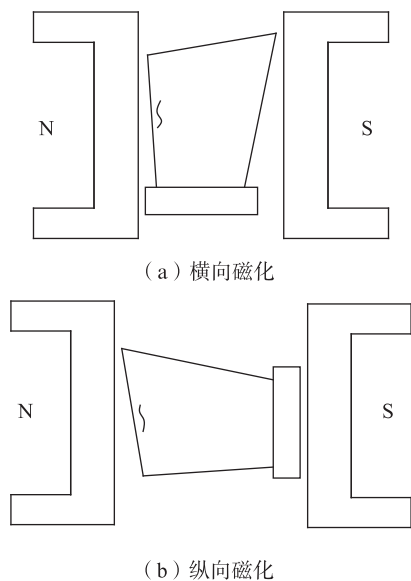


图 1 磁轭法磁化转子叶片示意图

(3) 磁悬液及浓度 在磁粉检测中,缺陷能否被顺利检出,施加的磁悬液及其浓度的影响是非常大的,直接关系到磁粉检测的灵敏度。由于水基载液悬浮性较差且易导致制件锈蚀,所以载液选择常

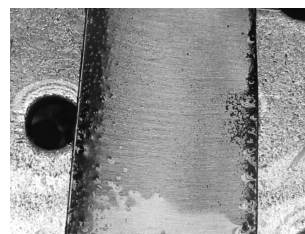
用的油基载液无味煤油,磁粉选择黑磁粉,按照磁粉检验航空标准的要求配制磁悬液,测定的沉淀体积浓度为 $1.0 \sim 2.5 \text{ mL}/100 \text{ mL}$ 。

转子叶片在磁化和施加磁悬液后,在叶片的叶尖和进、排气边的边缘产生了浓密的磁粉堆集现象(图 2),影响了缺陷磁痕的观察和判定。经过分析,由于转子叶片形状的原因,电磁轭两个磁化极端子无法与叶片端面紧密贴合,而叶片的叶尖和进、排气边非常薄,磁化时这些边缘部分的磁通量密度较大,会产生较强磁极;磁极快速吸附磁悬液中的磁粉造成磁粉堆集。为解决这个问题,需要对磁悬液进行调整。首先采用 25# 变压器油代替无味煤油载液,以期通过提高载液粘度来提高磁粉在载液中的悬浮性,然后对不同浓度的磁悬液进行了大量的检测试验,并采用 A1-30/100 型标准试片对检测灵敏度进行实时验证,直到得到清晰、完整的磁痕显示(图 3),同时消除了叶片边缘的磁粉堆集现象,最终确定出磁悬液的最佳体积浓度为 $0.6 \sim 0.8 \text{ mL}/100 \text{ mL}$ 。

4 检测程序

(1) 预处理 用清洗剂彻底清洗转子叶片,去除油脂等污物。

(2) 灵敏度验证 检测前,采用 A1-30/100 型试片验证灵敏度,试片的磁痕显示应清晰、完整。



(a) 示例一



(b) 示例二

图 2 叶片边缘的浓密磁粉堆集的显示示例

(3) 磁悬液的配置和测定 采用低磁粉含量的变压器油磁悬液,配置比例:将 $5 \sim 7 \text{ g}$ 黑磁粉加入到 1 L 变压器油中。使用锥形沉淀管每周测定一次磁悬液浓度:磁悬液至少搅拌 30 min ,抽取 100 ml



图3 灵敏度验证后的磁痕显示

注入沉淀管中,退磁后静置 24 h,读取沉淀值,体积浓度应在 0.6~0.8 mL/100 mL 范围内。

(4) 检测 检测采用湿连续法。检测时,充分搅拌磁悬液,并用磁悬液润湿转子叶片表面;然后在施加磁悬液的同时通电磁化,每次通电 1~3 s,至少通电两次,停止施加磁悬液后再通电数次。

(5) 观察和评定 观察可在通电的同时或停止通电后进行,受检叶片表面白光照度应不小于 1 000 lx,可使用 3~10 倍放大镜进行辅助评定,按照专用技术条件进行验收或拒收,并进行各项记录。

(6) 退磁 采用三相全波整流电换向衰减(或超低频)退磁,退磁后使用磁强计对剩磁进行测定,任何部位的剩磁不应大于 0.3 mT(相当于 240 A/m)。

5 检测结果

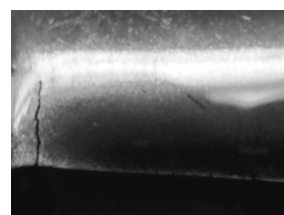
图 4 所示是采用以上工艺方法对叶片进行实际检测时发现的多条裂纹磁痕,可以看出,磁痕的显示非常清晰。



(a) 示例一



(b) 示例二



(c) 示例三



(d) 示例四

图4 叶片裂纹的磁痕显示示例

6 结语

通过分析和试验,采用三相全波整流电磁轭湿连续法对压气机转子叶片裂纹进行磁粉检测,能够满足对缺陷的检测要求,为实际问题的解决提供了一定的参考。在实际的磁粉检测中,应根据制件的特点,结合相关试验,选用合适的检测方法和检测工艺,以保证制件的质量。

参考文献:

- [1] 叶代平,苏李广. 磁粉检测[M]. 北京:机械工业出版社,2004:22-23.
- [2] HB/Z 72—1998 磁粉检验[S].

摘要撰写

摘要是以提供文献内容梗概为目的,不加评论和补充解释,简明、确切地论述文献重要内容的短文,因此,必须符合拥有与论文同等的主要信息的原则。摘要可包括研究工作的主要对象和范围,以及具有情报价值的其它

重要信息,内容不应空洞、过简,应具备四个要素,即研究目的、方法、结果和结论,其中,后两个是最重要的。中文摘要一般为 200 字左右,如需要可以略多;英文摘要内容应与中文摘要一致。

欢迎网上投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告