

飞机发动机涡轮盘榫齿裂纹的探伤

魏桂生, 齐共金

(北京航空工程技术研究中心, 北京 100076)

摘要: 由于采用电位法检测飞机发动机涡轮盘榫齿裂纹时常存在漏检, 造成涡轮盘脱出事故。分析了采用涡流方法进行检测的可行性, 比较了涡流法和电位法检测的灵敏度。最后通过试验证实: 涡流法检测涡轮盘榫齿裂纹具有灵敏度高、可检出腐蚀缺陷、表面预清理简单并且扫查速度快的优点, 是一种值得推广的检测方法。

关键词: 飞机发动机; 涡轮盘; 榫齿; 电位法探伤; 涡流探伤; 灵敏度比较

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2009)06-0497-02

Crack Detection on Dovetail Gear of Certain Type Airplane Engine Turbine Disk

WEI Gui-Sheng, QI Gong-Jin

(Beijing Aeronautical Technology Research Centre, Beijing 100076, China)

Abstract: Due to the fact that using the potential testing method for aircraft engine turbine disk mortise teeth cracks of ten resulted in the defect being undetected and possibly causing, the accident of turbine disk prolapsed, the possibility of using eddy current testing detecting the crack in aircraft engine turbine disk mortise teeth was outlined. The sensibility was compared between eddy current testing and potential testing methods. Finally the experiments confirmed that eddy current testing method had advantages of high sensitivity, corrosion defects detecting ability, the ease of surface pre-clean-up and quick scanning speed, so it was a detection method worthwhile promoting.

Keywords: Aircraft engines; Turbine disk; Mortise teeth; Potential testing; Eddy current testing; Sensitivity compared

1 涡轮盘榫齿探伤现状

某型飞机发动机涡轮盘曾多次发生脱出事故。据分析, 其直接原因是涡轮榫齿疲劳断裂(裂纹位置见图 1)所致。研究该部件的探伤方法, 制定相应的检查工艺, 涡轮盘脱出事故是可以避免的。

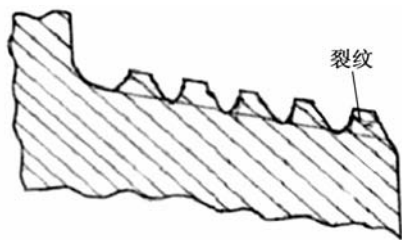


图 1 榫齿裂纹部位示意图

该型飞机发动机涡轮盘榫齿在过去一直采用电位法探伤, 该探伤方法也曾发现过榫齿裂纹。但由于电位法探伤的局限性, 依然存在着漏检的可能性, 从而导致涡轮盘脱出事故的多次发生, 为此, 对涡轮盘采用涡流、电位两种探伤方法进行了对比试验, 确定了该部件的有效探伤方法, 提高了探伤可靠性。

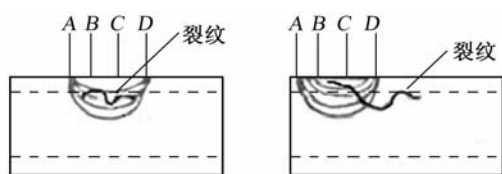
2 两种方法的对比分析

2.1 电位法

电位法是用一对电流极(图 2 中 A 和 D)给被检件施加电流, 再用另外一对测量极(图 2 中 B 和 C)检测因被检件具有电阻而产生的电位增量。当有裂纹时, 电阻值增大, 电压增量随之也增大。如果测量极 BC 位于裂纹端头之内, 则电压增量小, 容易漏检(图 2a); 如果测量极 BC 位于裂纹端头之外, 则电压增量较大, 容易发现裂纹(图 2b)。

收稿日期: 2008-05-29

作者简介: 魏桂生(1952—), 男, 高级工程师, 主要从事无损检测工作。



(a) 易漏检裂纹 (b) 不易漏检裂纹

图2 电位法检查榫齿示意图

令无裂纹时的标定电压为 V_0 , 有裂纹时测得的电压为 V_R , 被检件的电阻率为 R_P , 检测时的标准电流为 I , 测量极 B 和 C 之间被检件的横截面积为 S , 无裂纹时两个测量极 B, C 之间的距离为 L_0 , 有裂纹时 B, C 之间的电流路程为 L_R . 则有表达式^[1]:

$$V_R - V_0 = \frac{R_P I}{S} (L_R - L_0) \quad (1)$$

由上述关系式可得:

$$\Delta V_R = \Delta R_1 \cdot I \quad (2)$$

式中 ΔV_R ——电位法测得的电位增量;

ΔR_1 ——由于被检件有裂纹导致的电阻增量。

2.2 涡流法

涡流探伤使用点式探头时, 探头接收到的裂纹信号增量为一个阻抗复数 ΔZ , 由裂纹对探头引起的感抗增量 ΔX_L 和裂纹对探头引起的电阻增量 ΔR_2 组成(图3)。其表达式可以写成^[2]:

$$\Delta Z = \Delta R_2 + j\Delta X_L \quad (3)$$

若不考虑相位, 只考虑信号的绝对值, 则^[2]:

$$|\Delta Z| = \sqrt{(\Delta X_L)^2 + (\Delta R_2)^2} \quad (4)$$

2.3 两种方法的区别

由式(2)可知, 电位法的测量极接收到的裂纹信号和裂纹导致的电阻变化值 ΔR_1 成比例。当裂纹尺寸比较小或裂纹方向和电流方向的夹角较小时, ΔR_1 值就很小, 难以准确地测出。所以电位法探伤无论采用交流或直流, 灵敏度都不高^[3]。涡流法就与此不同, 由式(4)可见, 涡流法由探头得到的裂纹信号增量 ΔZ , 既含电阻增量 ΔR_2 , 又含感抗增量 ΔX_L 。电位法探伤时, 涡轮盘榫齿上对于同一条较

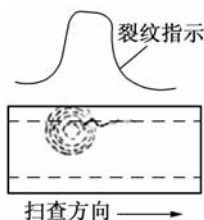


图3 涡流检查
榫头示意图

短的裂纹而言(这时裂纹位于测量极 BC 之间, BC 间距为 10 mm), 裂纹方向和 BC 间电流方向几乎平行, ΔR_1 很微小; 而涡流法探伤时, 若频率为 1.5 MHz, 磁芯直径为 1.5 mm, 则涡流通道平均直径约 4.5 mm, 深度约为 0.53 mm。长 5 mm、深 0.5 mm 的裂纹几乎贯穿整个涡流通道, 其涡流信号增量 ΔZ 要比 ΔR_1 大得多^[4]。因此, 涡流法检出该裂纹的可能性要比电位法大。

现把两种方法作一对比。电位法在航空发动机涡轮盘上能查出的榫齿裂纹深度必须 >0.8 mm^[1], 并且当测量极 BC 位于短裂纹的两端时, 由于裂纹和电力线平行, 深度即使 >0.8 mm 时也很难发现。只有裂纹端头位于测量极 B 和 C 之间时, 才可发现裂纹。从图1可见, 榫齿在断裂面上的最大厚度约为 1.4 mm。这表明榫齿上的裂纹深度必需超过有效厚度的一半以上, 电位法才可能检出。而普通型涡流探伤仪能发现 0.2 mm 深, 0.1 mm 宽的微裂纹, 性能高的智能型仪器能发现深为 20 μ m 的微裂纹。由此可见, 涡流法的探伤灵敏度远远高于电位法。

3 涡流法试验结果

对该盘采用涡流检测, 有三个主要难点需要解决。一是榫齿形状复杂, 可进行探伤作业的区间非常狭窄, 裂纹区至对面的垂直距离不足 1.5 mm(参见图1)。二是盘的表面有应力层、腐蚀层和积炭层等, 给评价涡流检验结果带来很大困难。三是涡流法是通过分析仪器指示信号来判断裂纹的有无和大小, 不能直接观察其形貌。因此采用涡流法试验必须选用一种能直接显示裂纹形貌的方法, 借以评价涡流检验的准确性。

按照以上分析, 用 SMART 97 型涡流探伤仪, 在五个盘上做了涡流检测试验, 根据被检件材料和榫形, 配制了 AR5 型专用微型探头。并用渗透、电位探伤法进行了对比试验, 试验结果见表1。

4 结论

(1) 采用涡流探伤法检查涡轮盘榫齿裂纹是一

表1 涡流、渗透和电位法试验结果对比

涡轮盘号	齿数	涡流法探伤结果	渗透法探伤结果	电位法探伤结果
1415576	109	43个齿上有裂纹和条状腐蚀	35条裂纹, 25mm以上15条, 条状腐蚀3处	3条裂纹指示
12H1391-2	128	裂纹3条; 条状腐蚀11处; 点蚀45处	微裂纹2条, 条状腐蚀10处, 点蚀47处	无裂纹指示
240178	128	条状腐蚀4处; 点蚀47处	条状腐蚀4处; 无裂纹显示	无裂纹指示

(下转第507页)

高性能复合材料结构制造与无损检测技术交流会 征 文 通 知

由全国无损检测学会学术工作委员会、中国复合材料学会聚合物基复合材料专业委员会和性能测试与检测专业委员会发起,决定于2009年9月联合举办“高性能复合材料结构制造与无损检测技术交流会”。

会议主题

• 复合材料无损检测与性能测试技术 包括复合材料无损检测技术,信号处理与缺陷表征技术,微结构与性能测试技术,换能器、仪器和设备技术,自动化、数字化检测技术,复合材料固化监控与健康监测技术,修理无损检测技术,其它新材料新结构无损检测技术,无损检测现状、发展及人员培训,无损检测技术在工业领域的应用与作用等。

• 高性能复合材料结构制造技术 包括高性能树脂基复合材料及其结构制造技术,先进复合材料、结构一体化设计与制造技术,液体成型技术及其预成型件制备技术,复合材料缠绕、铺放和纤维束铺放技术,先进复合材料连接与装备技术等。

(上接第498页)

种比较理想的探伤方法,具有更高的灵敏度和可靠性。涡流法查出的缺陷(含裂纹和腐蚀等)均能得到渗透法的验证。相比之下,电位法的灵敏度和可靠性远不及涡流法。

(2) 涡流法不但能检查裂纹,而且能检查腐蚀。这已为渗透法所证明,有关文献也有报道。

(3) 涡流法能够检查炭层覆盖着的缺陷,也能检查表面封闭裂纹,因此对被检件的表面处理要求简单。电位法要求表面上非导电附着物必需清理干净,否则影响探伤效果。

(4) 涡流法探伤速度快,且是全面扫查榫齿,手工检验每个盘耗时约20 min。电位法只能在每个齿上查几个点。

(5) 涡流法灵敏度高。通过灵敏度控制,可以把裂纹和具有一定当量深度的腐蚀全部扫查出来。虽然腐蚀和裂纹相比没有尖端,应力集中系数较小,但仍破坏涡轮盘材料的连续性。若已形成应力腐蚀裂纹,则应与裂纹同等看待。因此使用涡流检验,无疑应该用定量的概念把包括腐蚀在内的不许可存在的缺陷定为拒收标准。

会议将组织出版正式论文集,评选优秀论文,并推荐优秀论文在《复合材料学报》《航空制造技术》以及《无损检测》杂志上发表。

欢迎各界同仁踊跃投稿、积极参会,也欢迎有关仪器设备商参展和进行专题产品发布。

会议地点:初定新疆乌鲁木齐

会议时间:初定于2009年9月(具体时间另行通知)

论文截止日期:2009年9月

联系人:复合材料无损检测与性能测试技术方向:刘松平,刘菲菲;电话:010-85701657,13501205627;传真:010-85701651;E-mail:liusping@public.bta.net.cn。

高性能复合材料结构制造技术:曹正华,郭春燕;电话:010-85701270;传真:010-85701651。

(全国无损检测学会学术工作委员会
中国复合材料学会聚合物基复合材料专业委员会
性能测试与检测专业委员会)

参考文献:

- [1] 吴步宇,陈志祥. 钢材硬度涡流无损检测技术的研究[J]. 无损检测,2000,22(6):243.
- [2] 帅家盛. 涡流检测技术的最新发展[M]. 北京:香港嘉盛科技,2003.
- [3] 贾伯年. 传感器技术[M]. 南京:东南大学出版社,1992.
- [4] 云庆华. 无损探伤[M]. 北京:劳动出版社,1983.

网上投稿步骤

本刊网上投稿步骤:① 登陆“材料测试网”网站(www.mat-test.com)。② 点击网页上方“投稿审稿”或从“《无损检测》介绍页面”进入“在线投稿审稿系统”。③ 点击“投稿人注册”,按照提示进行作者基本信息注册。④ 按照注册成功的名称和密码重新登陆系统,并按照提示提交稿件。⑤ 系统生成稿件编号,稿件提交成功。

有关该稿件的审理进度、修改意见以及录用与否您都可以实时登陆该系统进行查询。

《无损检测》编辑部