

航空发动机压气机整流器叶片疲劳裂纹的渗透检测探究

曾凤英

(中国航发四川燃气涡轮研究院 四川 绵阳 621010)

摘要: 航空发动机试验研究阶段, 压气机整流器叶片根部出现疲劳裂纹, 但裂纹在多次检测后, 检测重复性差。通过对叶片结构、表面状况、试验情况进行分析, 明确了缺陷检测重复性差的原因。通过比较试验法, 改进并确定了最优的渗透检测工艺, 并在后续整流器叶片检测过程中取得良好的检测效果。

关键词: 整流器叶片; 疲劳裂纹; 渗透检测

0 引言

在航空发动机的研究中, 压气机转子、涡轮转子等转动部件作为故障率高、危害度大的部件, 一直为人们所高度关注。整流器属于静止部件, 故障率相对较低, 对其故障分析也相对较少, 然而在试验和实际使用中, 整流器的失效也是常见的, 一旦发生失效, 对转子的正常运行与使用必会造成严重影响。为保证试车安全, 需对航空发动机压气机整流器叶片在试车完成后进行荧光渗透检测, 检查叶片运行时可能产生的裂纹, 对保证发动机工作的安全可靠具有重要的意义。

在发动机阶段性试车完成后, 对其发动机零部件进行分解检查, 发现压气机整流器叶片根部出现裂纹, 同一零件, 未再进行试验, 进行第二次检测后, 有些裂纹检测重复性差, 有些裂纹未被完全检出, 有些微小裂纹则被重新检查出来, 裂纹显示亮度前后均不一样等。通过对整流器叶片结构、表面状况、试验情况进行分析, 明确了裂纹漏检以及检出重复性差的原因, 并提出改进方法, 优化检测工艺, 解决重复性差及漏检这一难题。

1 压气机整流器渗透检测

叶片整体结构如图1所示。该压气机整流器材料为马氏体不锈钢 1Cr11Ni2W2MoV, 叶片采用精锻和机加工工艺方法, 叶片上缘板之间、叶片与内环之间采用整环真空钎焊而成。内环喷有耐磨涂层, 涂层为松孔性材料。在阶段性试车后, 压气机整流器整体变色并附着油污。

根据叶片上述结构, 有焊缝、涂层, 且焊缝部位粗糙度不佳, 因此采用水洗型荧光渗透检测。水洗型渗透检测工艺流程(I类A法a型)为预清洗、干燥、渗透、手工清洗、干燥、显像。在对该类型压气机整流器检测的过程中, 预清洗采用溶剂和超声波清洗方式, 渗透剂施加方式为浸渍, 渗透时间 15min。

采用上述工艺对整流器叶片进行检测, 偶然发现前后两次检测结果不一致, 对穿透性裂纹和微小裂纹发生了漏检, 因此对漏检原因进行分析并改进。

2 压气机整流器叶片工况分析

压气机整流器叶片属于静子部件, 相对于其他转子部件, 不承受高压及高转速的工作环境, 因此对其关注度不是

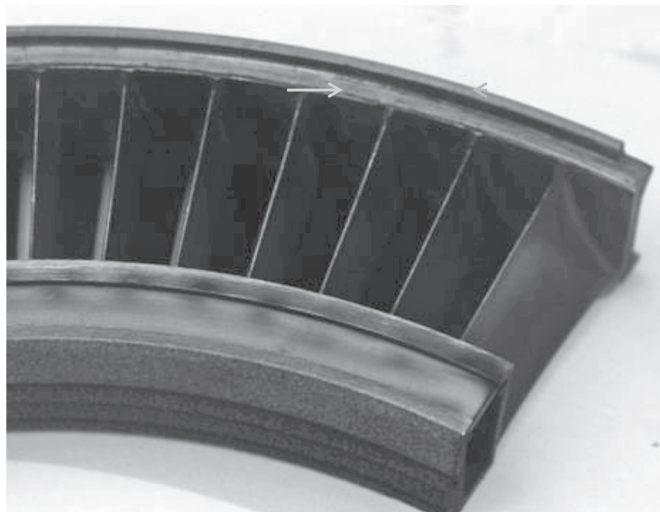


图1 压气机整流器

很高, 但是发生裂纹故障后, 对其叶片断口部位进行失效分析, 发现裂纹起源于焊缝区, 是疲劳裂纹; 同时, 叶片与焊接材料之间的硬度差异很大, 在焊接过程中会因结构变形约束产生局部应力, 因此根部焊缝部位是检测过程中应着重关注的部位。

3 裂纹漏检原因分析

采用水洗荧光渗透检测, 检测灵敏度 3 级, 排除检测灵敏度不够的原因。

整流器叶片厚度较薄, 厚度在 50 μ m 以下, 属于薄壁件, 如果是穿透性裂纹, 采用水洗型渗透检测, 在手工清洗时, 非常容易发生过清洗, 导致穿透性裂纹易发生漏检。

预清洗环节, 采用溶剂加超声波清洗方式对零件进行清洗, 目视检查整流器大面积已经清洗干净, 但检查根部时, 发现根部少许顽固油污未能充分去除, 而叶片根部恰是应力集中部位, 极易出现裂纹缺陷。因此分析, 叶片根部存在的少许油污可能阻碍渗透液的渗入, 导致微小缺陷发生漏检。

渗透液采用浸渍方式施加, 导致整流器内环涂层充分吸收渗透液, 在后续去除多余渗透液的时候, 内环涂层部位残存大量的荧光液, 需采用大量水及长时间的冲洗, 才能使大部分荧光液被去除掉, 冲洗时间过长, 导致靠近内环的叶片根部区域发生过清洗, 开口较大缺陷无法留住荧光液, 发

生漏检。

4 工艺改进

针对上述分析的原因，对其检测工艺进行改进。

(1) 改变检测方法。针对薄壁件穿透型裂纹，采用后乳化型渗透检测方法，则穿透型裂纹缺陷不易发生漏检。

(2) 加强预清洗环节清洁程度。经过反复试验，先进行溶剂加超声波清洗，并延长清洗时间，使叶片根部顽固的油污发生松动，然后增加棉签补充擦洗：由于叶片根部区域狭小，采用棉签蘸取清洗剂的方式反复擦洗，直至棉签干净为止，表明叶片根部清洗干净。

(3) 改变渗透剂施加方式。将渗透剂施加方式由原先的浸渍改为局部刷涂叶身和倒圆部位，内环涂层部位则不会被渗透剂污染。

(4) 延长渗透时间。经故障分析，该批整流器叶片根部裂纹为疲劳裂纹，起源于根部钎焊部位，因此适当延长渗透时间，由原来的 15min，延长为 30min。

5 试验验证

按改进后工艺对整流器进行检测，对照组 1：水洗与后乳化对比，都采用刷涂，其余工艺参数一致，检测前后对比效果如图 2、图 3 所示，红色箭头所示穿透性裂纹采用水洗检测工艺，未检测出来，发生了漏检。

对照组 2：浸涂与刷涂对比，都采用后乳化工艺，采用

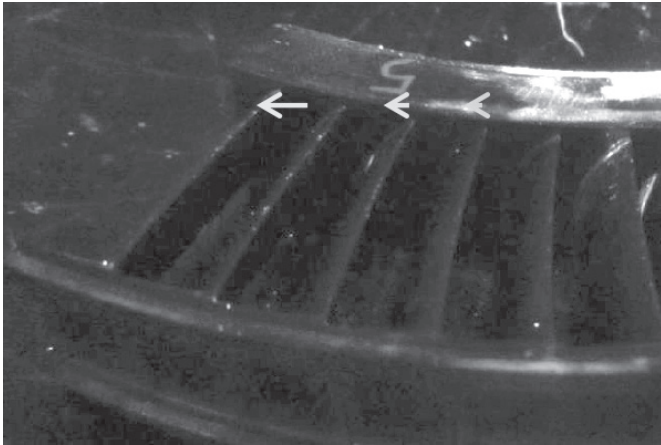


图 2 水洗工艺

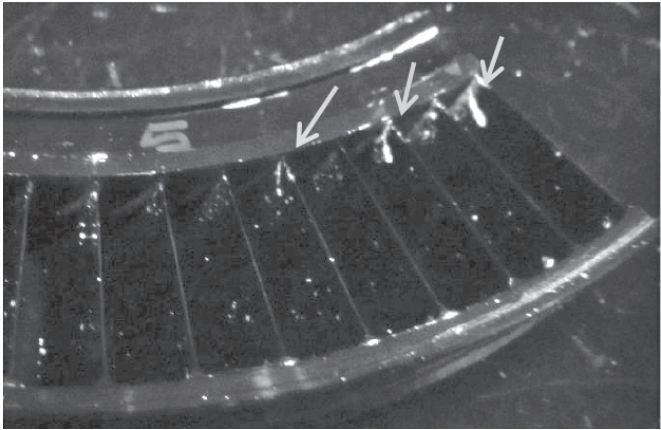


图 3 后乳化工艺

浸涂工艺，荧光背景过重、裂纹清晰度不佳。

对照组 3：探究疲劳裂纹检出情况与渗透时间、显像时间的关系，采取表 1、表 2 所示验证方案，对比裂纹检出情况。由表 1 和表 2 可知，叶片根部很浅的微小裂纹，在渗透时间 15min 时未检出，延长渗透时间至 20min 或更长时，发现了该裂纹，结合检测效率，采用渗透 20min、显像 15min 的工艺参数。

表 1 裂纹检出情况与渗透时间关系

项目	分组			
	第 1 组	第 2 组	第 3 组	第 4 组
渗透时间 (min)	15	20	25	30
显像时间 (min)	15	15	15	15
结果 (疲劳裂纹显示情况)	不可见	模糊可见	清晰可见	清晰可见

表 2 裂纹检出情况与显像时间的关系

项目	分组			
	第 1 组	第 2 组	第 3 组	第 4 组
渗透时间 (min)	15	20	25	30
显像时间 (min)	20	20	25	30
结果 (疲劳裂纹显示情况)	不可见	清晰可见	清晰可见	清晰可见

6 结语

通过对整流器叶片的结构、工况及运行期间的受力情况，分析叶片裂纹漏检的原因，采用比较试验法，得出了整流器叶片疲劳裂纹检测的最佳渗透时间、渗透剂施加方式及检测方法，确定了最优的检测工艺，保证了疲劳裂纹的检出率，为发动机试验安全保驾护航，并得出以下四条建议，供广大检测人员参考。

(1) 对于薄壁件的荧光渗透检测，首选采用后乳化型荧光渗透检测方法，提高对穿透性裂纹的检出能力。

(2) 渗透检测过程中，应根据零件实际结构采用适合的施加方法，对于极易吸收和残留渗透剂的结构，检测灵敏度和清洗后背景质量之间有不可调和的矛盾，采用局部刷涂方法，可减少不必要的污染，减少清洗时间，最大的保证关键部位的检测质量。

(3) 对于疲劳裂纹的检测，根据实际情况并兼顾检测效率，适当延长渗透时间，保证微小开口裂纹的检出。

参考文献：

[1] 徐可君. 航空发动机最低放行寿命评定研究 [J]. 海军航空工程学院学报, 2007, 22(2): 252-256.
[2] 发动机压气机整流器叶片裂纹成因及对策研究 [J]. 海军航空工程学院学报, 2009(06).
[3] 任学东. 渗透检测 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
[4] 李兴卫, 张平. 缺陷渗透理论分析 [J]. 无损检测, 2007, 29(12): 736-738.

作者简介：曾凤英（1987.10-），女，汉族，江西九江人，本科，工程师，研究方向：无损检测。