

某型发动机加力燃油总管喷油杆断裂分析

徐志刚 刘贵才 李 权 傅国如 陈 荣

(北京航空技术研究中心 北京 100076)

文 摘 研究了某型发动机在使用中发生的两起加力燃油总管喷油杆断裂故障。通过断口分析、组织检查、喷油杆受力分析等工作,找出喷油杆疲劳断裂失效的根本原因是设计不佳,导致喷油杆根部承受的应力水平较高,另外焊接缺陷是对疲劳裂纹的萌生起到了促进作用。最后提出了预防与改进的措施。

关键词 加力燃油总管,喷油杆,疲劳断裂

Failure Analysis of Main Fluid Pipe in One Aero-engine

Xu Zhigang Liu Guicai Li Quan Fu Guoru Chen Rong

(Beijing Aeronautical Technology Research Center Beijing 100076)

Abstract Two failure examples of fluid pipe of afterburner fuel manifold are studied and discussed. Through fracture analysis, tissue detection and mechanical analysis, the fundamental reason is revealed to be imperfect design, which raises the stress on the base of the fluid pipe. In addition, weld defect accelerates the fatigue crack initiation. Some measures are proposed to prevent the same accident happening.

Key words Afterburner fuel manifold, Fluid pipe, Fatigue failure

前言

加力燃油总管系统起着向加力燃烧室提供燃油的作用,其系统部件一旦失效,轻者燃蚀发动机其它部件,重者危及飞机安全。某型发动机加力燃油总管属于分圈分压供油的叉型直流式喷杆结构,由4个进油管、4个输油圈、25对外喷油杆和20对内喷油杆及两个离心式起动喷嘴组成;总管是用不同管径的铁基高温合金GH1140管材制成。

加力输油圈和喷油杆沿燃气流方向分别为内圈副油路I、外圈副油路II、内圈主油路III、外圈主油路IV,根据不同的加力状态,实行分圈供油。在最小加力状态至分圈转换点以下的部分加力状态范围内,加力总管仅内圈(输油圈I和III)供油;在分圈转换点以上的部分加力状态至全加力状态,加力总管内圈和外圈同时供油,即内、外喷油杆分别为副油路

(I、II)和主油路(III、IV)。当加力泵的供油压力小于980 kPa时,主油路关毕;反之,大于980 kPa时,主油路开始打开,主、副油路同时供油。

1998年和1999年,某型发动机先后发生两起加力燃油总管上一对外喷油杆断裂故障,其外喷油杆已吹脱落。两次故障喷油杆断裂的部位相同,都是位于两进油管间的一对外喷油杆且都是沿其焊缝根部断裂;两次故障喷油杆总的工作时间也相同,都为430余小时。这说明喷油杆失效具有一定的普遍性,为了查清故障原因,避免类似故障的再次发生,进行了故障件的失效研究工作。

1 断口检查及分析

残留的喷油杆断口比较平整,断口表面有金属氧化色,断口可见到多条疲劳弧线及疲劳台阶,见图1,疲劳源多起始于喷油杆外表面,其中主疲劳源位

收稿日期:2001-12-11

徐志刚,1966年出生,硕士,从事航空金属材料 and 失效分析工作

于箭头所示位置,即疲劳弧线的圆心处。

在扫描电镜下进一步观察断口及断口侧表面,疲劳裂纹是起始于焊缝区与焊接热影响区的临界区域偏焊缝一侧。其中主疲劳源位于多道焊缝交汇处,该处受热影响及残留的焊接应力较其他区域要大。在主疲劳源处焊缝上及源区下的焊缝和热影响区都发现有多条与断口平行的裂纹,见图2和图3。



图1 箭头所示主疲劳源区附近的疲劳弧线 30 ×
Fig. 1 Camber lines near the main initiation zone

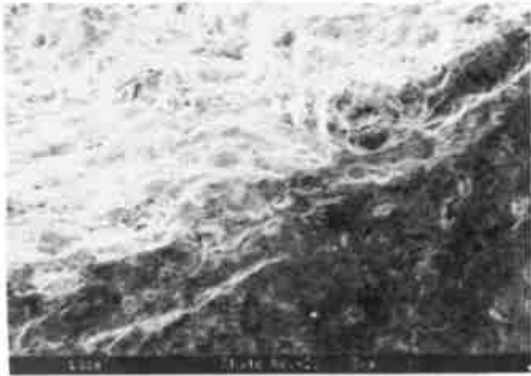


图2 主疲劳源处焊缝上的微裂纹 300 ×
Fig. 2 Microcracks in the weld within the main source

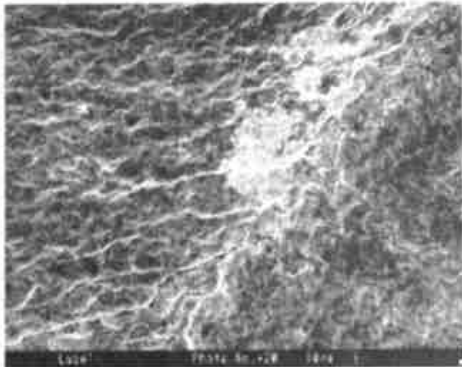


图3 源区下焊缝及热影响区裂纹 140 ×
Fig. 3 Cracks on the weld below the main source and within the HAZ

断口上微观疲劳特征明显,见图4。在疲劳源区附近和疲劳扩展后期都可见到清晰疲劳条带和二次裂纹。整个断口上疲劳扩展得很充分,瞬断区只约占断口面积的10%。

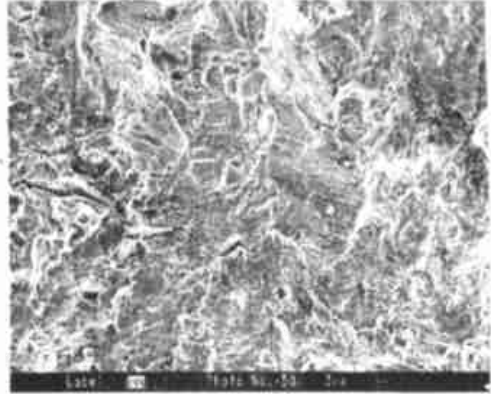


图4 疲劳条带和二次裂纹 400 ×
Fig. 4 Fatigue markings and secondary cracks

从断口呈多疲劳源和源区处焊缝上及断口下焊缝、热影响区都存在多条与断口平行的裂纹来看,说明该喷油杆承受了较大的应力^[1,2]。

2 断口金相组织检查

将喷油杆断口磨制成金相试样,观察断口下焊缝及热影响区组织。焊接热影响区组织不同于正常的GH1140组织,其晶粒明显长大。图5显示的是喷油杆基体(未受热影响的区域)、热影响区及焊缝区之间的组织差异。未受热影响的喷油杆基体是正常的细晶组织,晶粒尺寸平均约25 μm,热影响区(宽度约0.5 mm),晶粒明显长大,晶粒尺寸平均约60 μm;焊缝区是正常的枝晶组织。

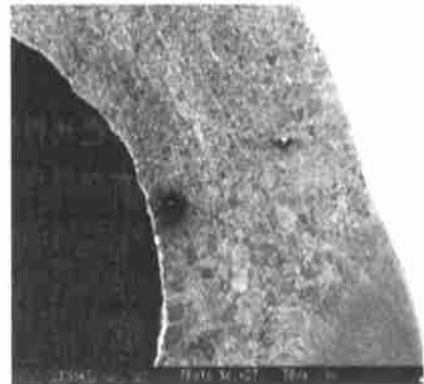


图5 喷油杆基体、热影响区和焊缝区的组织差异 30 ×
Fig. 5 Different tissues of the weld structure

金相磨片上,不论是热影响区,还是焊缝区都发现有裂纹,有的裂纹起源于喷油杆外壁,有的裂纹起源于内部焊缝及热影响区上。图6显示的是位于热影响区的一条长约0.4 mm的裂纹,该裂纹起源于喷油杆外壁焊接热影响区;图7显示的是起源于多道焊缝根部长约0.8 mm的内部裂纹;图8显示的是完全处在焊缝区长约0.3 mm的内部裂纹。

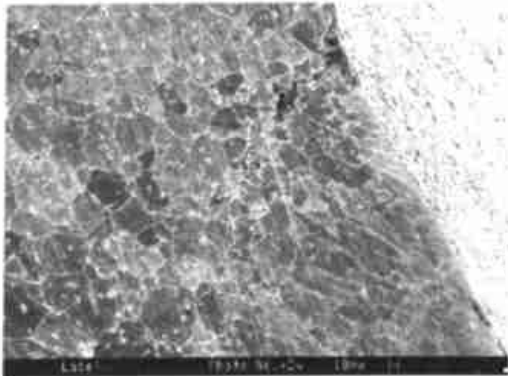


图6 焊接热影响区裂纹 100 ×

Fig. 6 Crack within HAZ

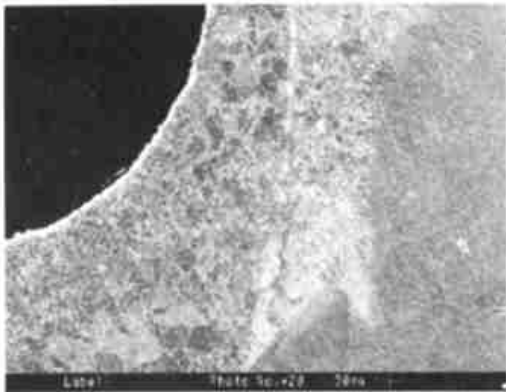


图7 热影响区内部裂纹 40 ×

Fig. 7 Internal cracks within HAZ



图8 焊缝区内部裂纹 60 ×

Fig. 8 Internal cracks in the weld

3 加力燃油总管外喷油杆的受力分析

外喷油杆(4 mm × 1 mm)采用GH1140的管材(目前该系列发动机中使用最细和最长的一种喷油杆),用氩弧焊将两根高度分别为55 mm和57 mm的钢管头部从两面焊为一体,另一端用氩弧焊与8 mm直径的外输油圈、焊为一体,形成一个人字形的悬臂梁结构,根部为受力集中点。

由于外喷油杆管径与输油圈管径相差一倍,使得垂直对接时焊接区面积较大,焊缝长度在输油圈圆周方向为18.5 mm,焊缝堆高达7 mm,焊接区是由多道焊缝形成。在焊缝上下3 mm范围内是焊接热影响区,其强度要比没有焊接前降低约三分之一,并残留有较大的焊接应力。同时多道焊接使得热影响区反复受热,易形成热影响区液化裂纹,表面探伤检查一般无法检出。

其次,由于人字形的外喷油管同时联接两根输油圈,起着联通作用,在杆上承受着结构预应力;其中喷油杆焊接根部承受的结构预应力最大。检查中,将输油圈上一对完好的外喷油杆垂直锯断,发现上下断口错开近6 mm,由此可见,外喷油杆所承受的结构预应力较大。

另外,外喷油杆受输油圈组装影响,存在较大安装预应力。4个输油圈用5对沿总管圆周均布的卡箍联成一体,4个进油管管接嘴经过扩散器外壁上的4个安装座中的球形衬套伸出壁外,与发动机外部供油管路相连。加力总管用5个拉杆固定于整流支板后端的支架上。由于输油圈不可能是一个相同直径的圆环,特别是随着使用寿命的增加,输油圈的变形随之增大,尤其两个进油管管接嘴与发动机外部供油管路的安装可能由于输油圈变形而产生附加应力,因此喷油杆上不可避免的存在安装预应力,尤其是位于两个进油管之间的喷油杆所承受的安装预应力最大,断裂的外喷油杆就位于两个进油管间,在一定程度上也证实了两进油管之间的喷油杆承受了较大的安装预应力。

最后,外喷油杆还受燃气流的冲击与发动机振动应力。从喷油杆断口形态来看,疲劳区面积占到整个断口面积的90%,说明发动机的振动应力在疲劳裂纹的扩展中起着主要作用。

4 综合分析

又型直流式喷杆结构的加力燃油总管,其又细宇航材料工艺 2002年 第4期

又长的外喷油杆为悬臂梁,根部焊缝区和热影响区为受力集中点,工作时在喷油杆根部同时作用着焊接热应力、结构预应力、安装预应力和燃气流的冲击与振动应力等多种应力,这些载荷作用的结果使交变应力的水平较高,局部超出了喷油杆疲劳极限,这是造成外喷油杆疲劳失效的根本原因。另外,喷油杆的焊接质量对疲劳裂纹的萌生也有一定影响。GH1140 属于铁基固溶强化高温合金,该合金焊接时对热裂纹的敏感性是随焊接电流增加而增加的^[3],尤其是采用手工氩弧焊,电流波动较大,稍不注意就容易产生焊缝金属凝固裂纹和热影响区液化裂纹,如果裂纹未穿透表面,表面探伤方法无法检测出裂纹。在故障件的焊缝区和热影响区内部都发现有裂纹,一定程度上证实了喷杆焊接质量的确存在一定问题。由于喷油杆受多种交变载荷的作用,在喷油杆根部焊接薄弱部位(热影响区)就产生疲劳裂纹,最终导致断裂。

5 结论

(1) 加力燃油总管外喷油杆断裂属于机械疲劳断裂。

(2) 疲劳多源起始于喷油杆外壁焊缝与热影响区交汇处。

(3) 外喷油杆疲劳断裂与其疲劳强度储备不足,存在较大结构应力和安装应力有关。

(4) 喷油杆焊接质量对疲劳裂纹的萌生有一定的影响。

6 建议

(1) 有关部门应及早对加力燃油总管系统进行设计改进,提高其喷油杆的疲劳极限。

(2) 改进和完善加力燃油总管的安装工艺和方法,降低安装预应力。

(3) 提高焊接质量并加强内部裂纹的探伤检查。

参考文献

- 1 胡世炎. 机械失效分析手册(修订本). 四川科学技术出版社, 1998:507~508
- 2 张栋等. 机械失效的实用分析. 国防工业出版社, 1997:113~122
- 3 关桥等. 航空制造工程手册:焊接. 航空工业出版社, 1996:88~103

(编辑 任涛)

(上接第 57 页)

4 结论

用 STM 在空气中对 RCF 的表面微观结构进行了观察。首次得到了 RCF 在原子级分辨率上的 STM 表面微观结构图像,发现了变形的六圆环结构和逃逸原子所留下的不同长短的凹坑。二维视图量化结果表明:相邻原子间距为 0.142 nm,最近六圆环中心的距离是 0.253 nm。

虽然,由不同的原丝和不同的碳化工艺所得到的碳纤维,其表面微观结构肯定会有所差异,用 STM 所得到的二维视图量化数据也肯定会有所区别。但本次实验,毕竟为以后系统而深入的研究不同条件下碳纤维表面微观结构的“特征”数据,作了良好的铺垫。

参考文献

- 1 胡天苗等. 碳纤维结构的 STM 观察研究. 真空, 1995; (4):8~13
- 2 时东霞等. 聚丙烯腈基碳纤维的扫描隧道显微镜研究. 材料研究学报, 1997; 11(3):305~308
- 3 Binnig G et al. Surface studies by scanning tunneling mi-

croscopy. Phys. Rev. Lett., 1982; 49(1):57~61

4 白春礼. 扫描隧道显微镜在表面化学中的应用. 大学化学, 1989; 4(3):1~4

5 白春礼. 扫描隧道显微学研究新进展. 物理, 1991; 20(3):132~135

6 姚骏恩等. 一种原子分辨率扫描隧道显微镜. 电子显微学报, 1988; 1:48~54

7 王茂章, 贺福. 碳纤维的制造、性质及其应用. 科学出版社, 1984:261~265

8 王善元, 张汝光等. 纤维增强复合材料. 中国纺织大学出版社, 1998:40~43

9 黄桂珍等. 石墨晶体的高分辨扫描隧道显微象. 化学通报, 1988; (10):38

10 Donnet J-B et al. Study of carbon fiber surfaces by scanning tunneling microscopy, Part , carbon fibers from different precursors and after various heat treatment temperatures. Carbon, 1992; 30(5):787~796

11 Donnet J B et al. Study of carbon fiber surfaces by scanning tunneling microscopy, Part , PAN-based high strength carbon fibers. Carbon, 1993; 31(1):7~12

(编辑 马晓艳)