

燃烧室进油管焊缝裂纹失效分析

Failure Analysis on Weld Crack of Firebox Vitta

中航工业南方航空工业(集团)有限公司 苗小锋 姜媛媛 汪云程

[摘要] 燃烧室进油管沿周围出现开裂现象,对它进行外观检查、断口分析、冶金分析及综合分析,结果表明燃烧室进油管在氩弧焊接过程中由于焊接不当,导致在焊缝收弧处产生焊接缺陷——咬边及焊瘤,且焊缝处于尺寸变化较大的部位,容易产生应力集中,在工作过程中萌生裂纹并疲劳扩展。

关键词: 进油管 疲劳裂纹 氩弧焊 焊瘤

[ABSTRACT] The vitta of firebox crazes at the circumferential direction. Fracture surface observation, metallurgical inspection and comprehensive analysis on the vitta are carried out and the results show that the vitta is welded improperly which results in welding defects-undercut and overlap appear at receiving place of weld, and weld is easy to appear stress concentration because it is the major dimensional changed region, so the cracks spring and spread under fatigue load finally.

Keywords: Vitta Fatigue crack Argon shielded arc-welding Overlap

某发动机在外场工作 343.2h 后,发现引气有滑油味,返厂后对该发动机的燃烧室机匣进行打泵检查,发现进油管焊缝处有露泵现象,焊缝部位沿周向开裂。该进油管基体材料为 1Cr18Ni9Ti,与燃烧室机匣采用氩弧焊的方式配合,焊丝为 H0Cr20Ni10Ti。焊接工艺流程为氩弧焊—煤油检查—检验,进油管焊缝级别为Ⅲ级。

1 试验结果

1.1 外观

目视检查发现整个管体外表面呈暗黑色,积碳严重,如图 1 所示;进油管近焊缝处出现开裂现象,裂纹沿周向开裂,开裂长度约 4/5 管子周长;焊缝收弧处存在焊接缺陷——咬边及焊瘤,如图 2~ 图 3 所示。

1.2 断口分析

1.2.1 宏观断口

将裂纹人工打开后进行断口观察:在实体放大镜下断面的 2/3 平坦,1/3 呈 45° 剪切状,无明显宏观塑性变形;断面上有一层堆积物,呈黑色,经能谱分析确定为积



图1 进油管外观及开裂部位
Fig.1 Appearance and crack position of vitta

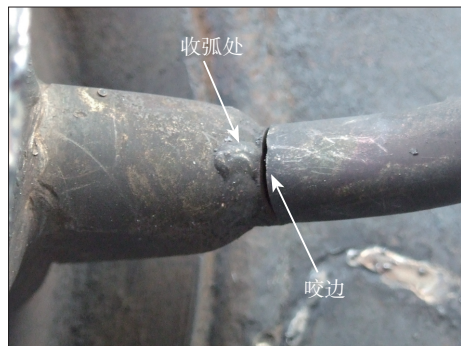


图2 进油管裂纹宏观形貌
Fig.2 Macro-appearance of vitta crack

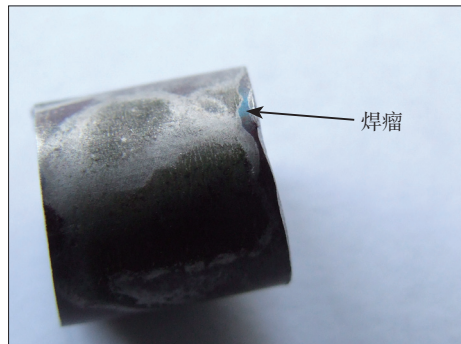


图3 焊瘤
Fig.3 Overlap

碳,如图 4 所示。

清洗断口表面积碳后观察:断面清晰,为疲劳断裂特征;源区位于焊缝边的焊瘤(紧靠收弧处),如图 5 所示;疲劳源区可见明显的放射线及疲劳弧线,疲劳裂纹

由外壁向管内壁及周向扩展,疲劳扩展区可见明显的疲劳弧线,如图6所示。



图4 断口原始形貌

Fig.4 Primal appearance of fracture surface

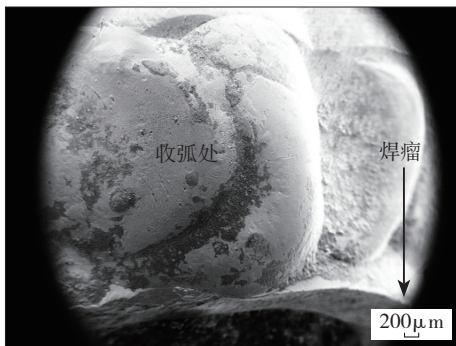


图5 焊瘤形貌

Fig.5 Appearance of overlap



图6 断口宏观形貌

Fig.6 Macro-appearance of the fracture surface

1.2.2 微观断口

在扫描电镜下观察,疲劳裂纹起始于焊缝边焊瘤,源区可见明显的放射棱线及疲劳弧线,未见明显的加工及材质缺陷,长约0.9mm,如图7~图8所示;疲劳扩展区可见明显的疲劳弧线及疲劳条带,如图9~图11所示。

1.3 金相分析

将焊接接头沿纵向剖切作检查发现,裂纹起源于焊缝边焊瘤,裂纹穿晶扩展,焊缝热影响区晶粒有长大现象,靠断口源区一侧的焊缝低倍形貌如图12~图13所示;另一侧焊缝存在长约0.7mm的未熔合,进油管与套

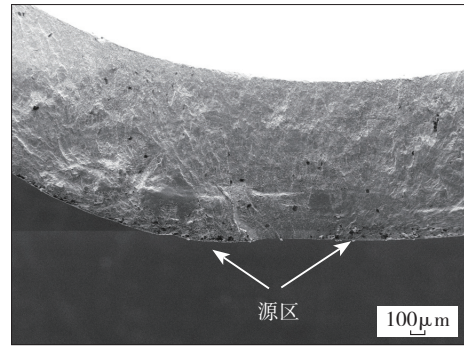


图7 裂纹源区位置

Fig.7 Position of fracture source

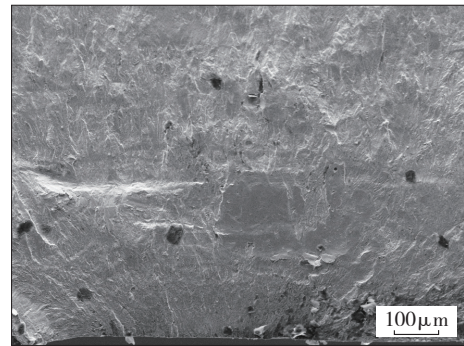


图8 源区形貌

Fig.8 Appearance of fracture source

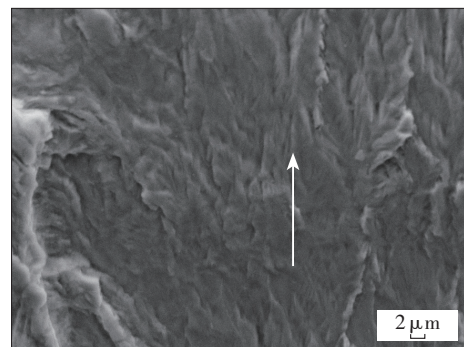


图9 径向扩展(疲劳条带)

Fig.9 Radial spread (fatigue striation)

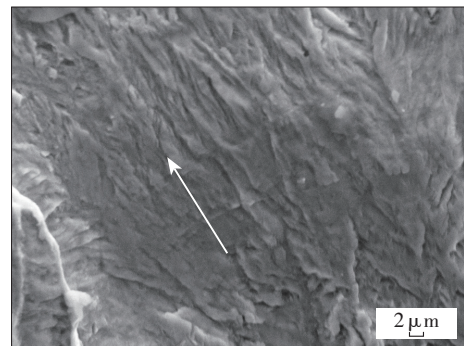


图10 周向扩展(疲劳条带)

Fig.10 Circle spread (fatigue striation)

管间隙约 0.25mm,如图 14 所示。进油管基体为奥氏体组织;焊缝区为铸造枝晶组织。

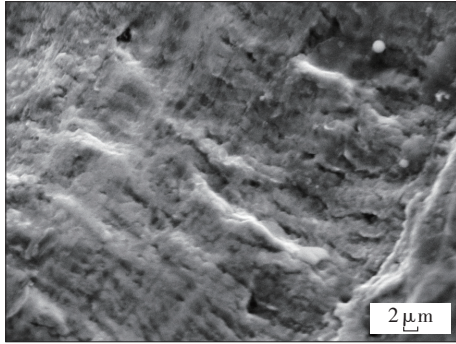


图11 裂纹扩展后期

Fig11 Later stage spread of crack

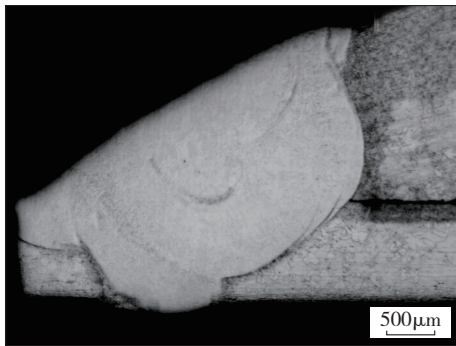


图12 焊缝低倍形貌

Fig12 Macro-appearance of weld

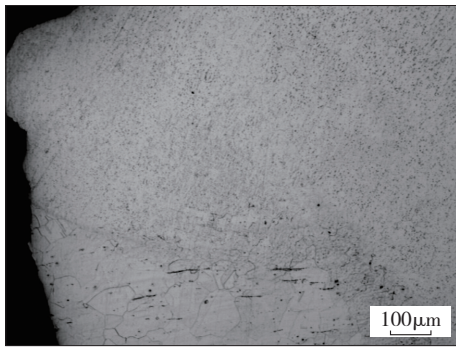


图13 断口组织

Fig.13 Microstructure of fracture surface

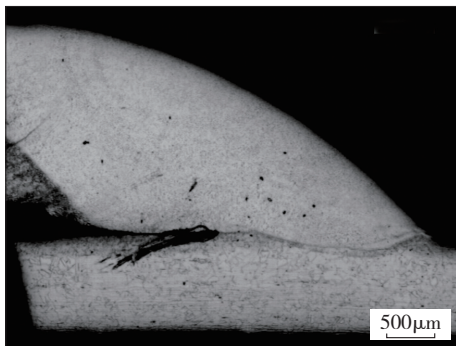


图14 对应源区180°焊缝低倍形貌

Fig14 Macro-appearance of fracture source under 180°

1.4 材质分析

1.4.1 化学成分分析

进油管基体材料经扫描电镜能谱分析,成分质量分数符合要求,结果如表 1 所示。由于使用能谱分析钢的成分,碳元素质量分数 $w(C)$ 误差较大,无法确定其具体质量分数。

1.4.2 晶粒度

表1 能谱分析结果(质量分数) %

元素	Fe	Cr	Ni	Ti	Si	Mn
能谱结果	70.12	18.01	8.97	0.47	0.92	1.50
1Cr18Ni9Ti	余量	17~19	8~11	$5 \times [w(C) - 0.2] - 0.8$	≤ 0.8	≤ 2.0

进油管基体中心晶粒度级别为 5 级。

1.4.3 硬度检查

基体:152 HV_{0.2}、161 HV_{0.2}、158 HV_{0.2};

断口处焊缝热影响区:162 HV_{0.2}、173 HV_{0.2}、168 HV_{0.2}。

2 综合分析

(1)进油管裂纹断口具有以下特征:2/3 断面平坦,1/3 断面呈 45° 剪切状,无宏观塑性变形,裂纹起始于焊缝边的焊瘤处,源区可见明显的放射棱线及疲劳弧线,未见加工和材质缺陷;裂纹由外壁向管内壁及周向扩展,扩展区可见明显的疲劳弧线及疲劳条带,该进油管开裂性质为疲劳开裂。

(2)套管与进油管的焊缝位于尺寸变化较大的转接 R 处,由于焊接不当在该焊缝边产生焊接缺陷——焊瘤及咬边,则该部位存在应力集中现象^[1]。进油管在工作过程中受发动机振动载荷及燃油对进油管的冲击载荷的作用,使进油管应力集中处(焊缝缺陷处)应力超过进油管的疲劳极限,在该处产生裂纹并疲劳扩展。

(3)通过外观及金相检查可知:进油管焊缝边(对应于焊缝收弧处)有 1 处焊瘤,且进油管已焊透;而另一侧焊缝区存在未熔合现象,说明进油管的焊接质量不好。焊缝的未熔合区与疲劳源区对应成约 180° 角,与疲劳裂纹起始无关。

3 结论

燃烧室进油管裂纹为疲劳裂纹,该疲劳裂纹与进油管焊接缺陷及进油管与套管的结构有关。

参考文献

[1] 李亚江. 焊接缺陷分析与对策. 北京: 化学工业出版社, 2011: 2-5.

(责编 深蓝)