

燃烧室机匣安装座焊接失效分析及工艺改进

范利梁 杨致顺 蔺晓超 刘秀芬
(北京动力机械研究所, 北京 100074)



摘要: 为解决某型号发动机燃烧室机匣安装座焊缝背面裂纹问题, 利用工业视频内窥镜、金相检验、扫描电镜等手段对裂纹的形貌、深度、断口组织进行了分析, 结合裂纹出现的位置及产品结构确定了裂纹的性质及产生原因。通过采取工艺措施, 有效地解决了产品焊接裂纹问题。

关键词: 焊接裂纹; 结构分析; 工艺改进

Welding Failure Analysis and Process Improvement of Mounting Base in Flame Chamber

Fan Liliang Yang Zhishun Lin Xiaochao Liu Xiufen
(Beijing Power Machinery Institute, Beijing 100074)

Abstract: In order to solve the turbine engine's welding crack problems appearing on the back of mounting base, video endoscope, metallographic examination, scanning electron microscopy were used to analyze the morphology, depth and fracture of welding crack. Combined with location and product structure, the properties and reasons that caused crack were determined. The crack problems of welding products were effectively solved by adopting technical measures.

Key words: welding crack; structure analysis; processing improvement

1 引言

燃烧室机匣是涡扇发动机中的重要承力部件, 主要承受径向力、轴向力、扭矩、弯矩、惯性力以及振动等多种负荷, 其质量的好坏对发动机具有重要的影响^[1]。图 1 所示为燃烧室机匣焊接结构示意图, 主要由内壳、外壳、安装座、扩压叶片、筒体和法兰盘组成。其中, 内壳、外壳通过扩压叶片钎焊连接; 外壳、筒体和法兰盘通过 2 道自动氩弧焊环焊缝连接; 安装座通过手工氩弧焊与外壳、筒体和法兰盘连接而成。内壳、外壳、法兰盘和筒体所用材料为马氏体不锈钢 1Cr11Ni2W2MoV; 安装座采用不锈钢 (ZG1Cr17Ni3) 铸件。由于产品受焊缝集中、焊缝重合及零件焊接性较差等因素影响, 在生产中安装座处手工氩弧焊焊接质量不够稳定。

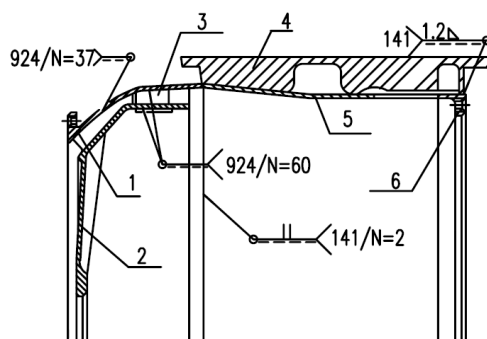


图 1 燃烧室机匣焊接结构示意图

1—外壳 2—内壳 3—扩压叶片
4—安装座 5—筒体 6—法兰盘

2 焊接分析及原因定位

作者简介: 范利梁 (1965-), 工程师, 机械设计与制造专业; 研究方向: 发动机制造技术。

收稿日期: 2014-01-07

2.1 焊接裂纹检验

用内窥镜对产品进行多余物和安装座焊缝检查时，先后发现多件产品安装座的焊缝热影响区存在裂纹。利用工业内窥镜对焊缝的深度进行检测，大多数深度在 0.1~0.3mm 之间，少数裂纹深度在 0.5mm 左右，长度在 0.5~3mm 之间，宽度为 0.1mm 左右。

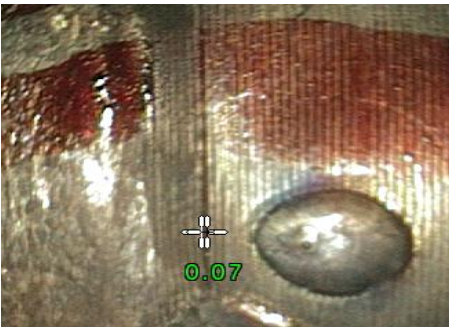
图 2 所示为图像采集得到的不同裂纹形貌特征。裂纹外观形貌存在 3 种类型。裂纹一形貌特征：单条曲线状裂纹，出现在靠近原环焊缝熔合线的热影响区。此种裂纹在生产过程中出现几率较大。裂纹二形貌特征：裂纹呈发散状，断口边缘有明显的氧化特征，内表面有焊漏。裂纹三形貌特征：单条笔直状裂纹，裂纹位置与筒体旋压纹基本重合。



a 裂纹一宏观形貌



b 裂纹二宏观形貌



c 裂纹三宏观形貌

图 2 裂纹形貌

为了确定裂纹性质和准确分析裂纹产生的原因，对产品进行理化检验。利用机械方法对裂纹区域分解并对断口进行金相及能谱分析。

图 3 所示为第一种裂纹的断口金相图，断口呈亮红色，断面呈熔融自由表面形貌，为沿晶形貌，特征表明开裂的性质为脆性断裂。将断口清洗后置于扫描电镜下进行能谱分析，能谱分析表明（见图 4），断口表面除基体元素外还含有大量的 Cu 和 Mn 元素，与外表面裂纹附近区域成分一致。说明焊接过程中钎料发生熔化并进入熔焊缝中。

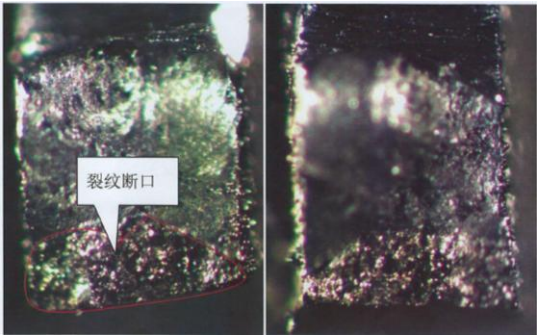


图 3 裂纹一断口形貌

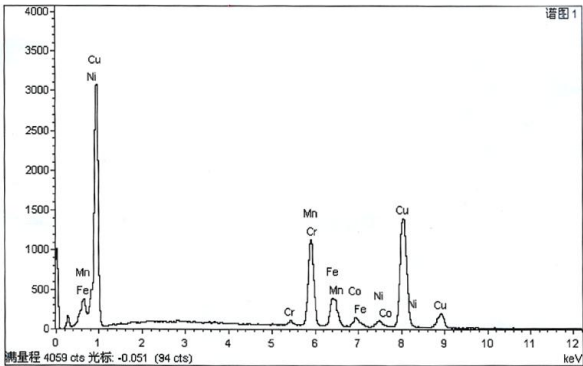


图 4 裂纹一能谱分析

裂纹二位于焊缝的热影响区内，深约 0.44mm，裂纹内部部分区域存在亮白色物质。将试样浸蚀后观察，裂纹附近组织为回火组织。对裂纹内部物质进行能谱分析，主要含有 Cu、Mn、Cr、Fe、Co 等元素。对裂纹附近区域（热影响区）及远离焊缝基体进行显微硬度测试，结果表明热影响区硬度和远离焊缝区域基体硬度未见明显差异。

对裂纹三断口进行能谱分析，其合金元素及含量为：Cr12.4%、Ni1.5%、Mo0.7%、W2.6%、V0.3%、Si0.3%，余 Fe。谱能分析结果表明基体所用材料主合金元素基本符合 1Cr11Ni2W2MoV 要求。

根据理化检验结果、燃烧室机匣安装座焊接裂纹的外观形貌及裂纹产生的位置进行分析,安装座的裂纹是在手工氩弧焊高温过程中形成的,为焊接热裂纹。

2.2 焊接裂纹产生原因分析

2.2.1 裂纹一

形成的原因是由于裂纹区域除安装座氩弧焊外,之前还进行了叶片钎焊和环形氩弧焊,安装座氩弧焊焊接过程中形成的焊缝与原环焊缝热影响区重叠,造成该区域存在较大的焊接应力,且该位置结构刚度大,应力分布复杂,在应力的作用下在接头热影响区域形成裂纹。同时由于焊接温度高于钎料 Cu58MnCo 的熔点,导致裂纹附近的钎料发生熔化,部分钎料流入裂纹内部,加剧焊缝处裂纹的产生。

2.2.2 裂纹二

焊接过程中,局部焊接热输入量过大,筒体内表面局部产生焊漏,焊漏处熔池收缩时会产生很大的应力(焊接应力和熔池相变产生的应力),残余液态金属不足,不能及时填充收缩留下的空间,而焊漏处周围刚性好,对焊缝的拘束度大,使得燃烧室机匣安装座处不能通过结构本身变形释放应力,应力大于母材的抗拉强度形成了裂纹。也有可能是安装座氩弧焊待焊处清理不干净,在待焊处存在未清理干净的钎料,在进行氩弧焊时,钎料和基体熔池不相溶,不能形成有效的熔池而产生裂纹。

2.2.3 裂纹三

旋压纹处纹路存在一定深度,形成结构上的薄弱区域,造成应力集中,在焊接应力的作用下产生裂纹。

3 焊接工艺改进^[2]

对于含碳量较高的马氏体钢,在接头拘束度较大的情况下,也常采用奥氏体型的焊接材料,以提高焊接接头的素韧性,防止焊接裂纹的发生。所以采用 H0Cr21Ni10 焊丝焊接是合理的。

在产品结构已定的情况下,改进焊接工艺是很重要的。1Cr11Ni2W2MoV 材料钨极氩弧焊时具有优良的抗裂性。1Cr17Ni3 钢在制造复杂的焊接结构件或焊缝集中的零件时,易产生裂纹。焊接这类钢时,热循环不应使焊缝及热影响区在高温区停留的时间过长。所以必须减小热输入,控制焊接残余应力^[3]。因此工艺改进在以下几个方面进行:控制焊前接头表面清理质量;选择合理的焊接顺序和方向,

调整残余应力的分布;采用线能量小的工艺参数和焊接方法,或强制冷却措施,达到减少热输入。

3.1 控制焊前质量

为了避免钎料污染安装座焊接区,在钎焊涂覆钎料时,在钎缝周围约 2mm 处涂阻流剂(不会影响钎焊质量),保护基体表面在钎焊时不被钎料附着;如出现少量的钎料污染,可将安装座氩弧焊待焊处 10~15mm 范围钎料打磨干净,有助于减少第二种裂纹出现的概率。打磨图 5 中焊缝 1、焊缝 2 处的筒体内外表面无旋压纹痕迹。基本消除结构上的薄弱区域,减少应力集中,避免第三种裂纹产生。

由于手工定位点焊有时焊点较大造成表面氧化,因此焊缝 1、焊缝 2 区域不要有定位焊点,在焊缝 3、焊缝 4 区域定位点焊。点焊间距 20mm 左右,见图 5。

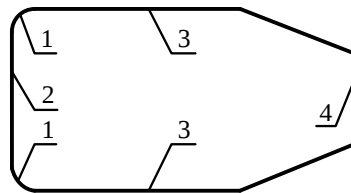


图 5 焊接顺序示意图

3.2 规定焊接顺序

选择合理的焊接顺序和方向,可以调整残余应力的分布。焊接顺序会影响焊缝的受力状态,即使采用相同的焊接方法和焊接材料,也会引起不同的裂纹倾向。合理的焊接顺序和方向,应使焊缝尽量能自由收缩。原则是:先焊收缩量大的焊缝和受力较大的焊缝;焊缝交叉时,先焊短焊缝,后焊直通长焊缝。

针对安装座的焊缝,可以将焊缝分为 4 段,如图 5 所示。很明显焊缝 1 位于拐角处,应力集中最为严重,拘束度大,应力情况复杂;焊缝 2 位于自动氩弧焊环焊缝的热影响区,也存在一定的应力集中。焊缝 3 和焊缝 4 应力水平较小,应当后焊。这样当焊接焊缝 3、4 时,1、2 段焊缝由于已经得到冷却,温度较低,材料的强度和塑性都得到恢复,抵抗应力的能力增强,对防止裂纹产生很有好处。

所以焊接顺序规定为焊缝 1 至焊缝 4 进行焊接。在焊接焊缝 3 时,在圆弧 1 处起弧。每段焊接之间要求必须有 5min 左右的间歇,以起到减小热输入的作用,减小焊接应力。

(下转第 30 页)