

多层波纹管焊接接头设计与焊接工艺研究

王志云¹ 袁立铭² 李兴龙² 段京燕²

(1. 北京航天动力研究所, 北京 100076; 2. 首都航天机械公司, 北京 100076)



摘要: 介绍了多层波纹管焊接接头结构形式, 分析了多层波纹管的焊接工艺性及工艺难点。采用滚焊+熔焊的焊接工艺, 解决了焊接后焊缝气孔缺陷、熔深浅的问题。改进后的批产试验件焊缝一次交检全部达到Ⅰ级标准, 并通过地面单元试验考核。

关键词: 多层波纹管; 焊接接头; 焊接工艺

Design and Welding Technology of Multi-bellows Welded Joints

Wang Zhiyun¹ Yuan Liming² Li Xinglong² Duan Jingyan²

(1. Beijing Aerospace Propulsion Institute, Beijing 100076;

2. Capital Aerospace Machinery Company, Beijing 100076)

Abstract: The joint structures of welding multi-bellows are introduced and the procesibility and difficulty of welding multi-bellows are analyzed in this paper. The problems related to weld porosity and melting depth are resolved by the process of rolling weld and fusion weld. All welding seam of batch production test coupon had been up to I-level standard and met the requirements in ground experimental assessment.

Keywords: multi-bellows; welded joints; welding process

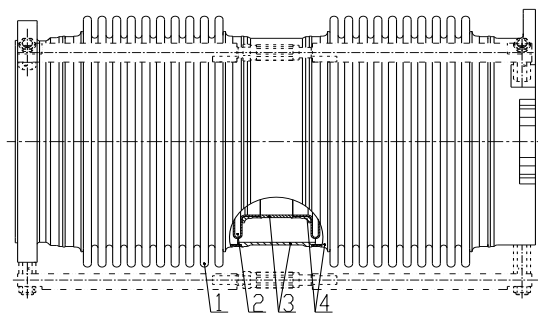
1 引言

摇摆软管是火箭升空后调整姿态的重要环节之一, 又是输送带压介质的柔性通道, 同时还具有对低温介质的真空绝热功能。摇摆软管主要由多层波纹管串联焊接组成, 即各波纹管两端通过焊接接头连接。焊缝的结构和焊接质量决定了摇摆软管的承压、疲劳寿命及绝热能力。首次生产的摇摆软管批次性出现焊接气孔超标、焊接熔深不合格、单条焊缝氦检漏率超标等问题。针对这种现象, 设计与工艺紧密配合, 从焊接接头结构设计进行优化, 重新调整焊接工艺, 经过工艺攻关获得成功。

2 焊接接头结构

摇摆软管上内、外波纹管先与直管焊接串联在一起, 套合后再分别与两端法兰焊接, 见图 1。接头的

结构形式决定了施焊的工艺方法。



1—外波纹管 2—内波纹管 3—直管 4—接头

图 1 摇摆软管结构示意图

2.1 原接头结构

原焊接接头设计为卷边结构, 多层波纹管卷边后夹在接头与直管间焊接, 采用微束等离子焊接工艺。形成的焊缝剖面结构类似“火柴头”, 这种接头结构焊接后, 焊接气孔多、焊接熔深浅、焊缝漏率超标原

因如下:

a. 采用微束等离子焊接工艺, 熔合面宽度窄, 需要施焊两周才能覆盖整个连接面, 多次受热, 会带来气孔缺陷。由于卷边接头结构为开放式, 多层波纹管层间夹气, 在焊接时层间气体受热膨胀后进入熔池, 形成气孔缺陷, 焊缝致密性差, 造成氦检漏率超标。

b. 受现有微束等离子焊接设备限制, 为满足焊接熔深要求采用大电流, 熔化深度增加但会产生过烧, 不满足 I 级焊缝对外观氧化色的要求。

2.2 改进后的接头结构

基于上述问题, 将摇摆软管的波纹管连接接头结构优化为对接焊结构, 采用滚焊+熔焊工艺替代原有的微束等离子焊, 先将多层波纹管接头与不等厚的接头滚焊在一起封口, 预留焊接凸台当做充填焊丝, 再与直管用脉冲自动氩弧焊熔焊。采用滚焊+对接熔焊的焊接方式主要有以下优点:

a. 避免气孔缺陷: 滚焊将多层波纹管封口, 隔绝波纹管层间膨胀的气体, 熔合位置较宽, 并且位于熔焊焊缝外侧, 二次熔焊时避免层间气体进入熔池, 形成气孔缺陷;

b. 保证熔深: 由于采用完全焊透的自动脉冲氩弧焊, 加上焊接余高的增强, 使焊缝处的焊接强度满足设计要求;

c. 提高焊缝的致密性: 相比卷边对接焊缝的“火柴头”结构, 完全熔透的滚焊+熔焊对接结构较大程度上提高了产品的致密性, 保证了产品氦质谱检漏的合格率。

3 焊接工艺性分析

3.1 材料工艺性

摇摆软管施焊材料为两种奥氏体不锈钢, 这两种不锈钢在焊接时的特点如下:

a. 有一定的气孔倾向。奥氏体不锈钢焊缝中的气孔主要以氢质气孔为主, 水分和油污分解产生的氢分子是产生气孔的根本原因, 因此, 在正常焊接条件下, 有一定的气孔倾向, 且多呈密集气孔;

b. 有一定的热裂纹倾向。主要以焊缝金属凝固裂纹为主, 和焊接应力及合金元素烧损有关;

c. 有一定的晶间腐蚀倾向。不锈钢焊接后冷却到敏化温度区 ($300\sim 700^{\circ}\text{C}$) 时, 在晶界上易析出铬的碳化物, 造成晶界的贫铬, 从而形成电动势, 如果该边界位于焊缝表面并与腐蚀介质接触, 会产生腐蚀。

3.2 装配结构工艺性

摇摆软管是由内、外波纹管组件与两端上下法兰装配焊接而成, 装配时采用开敞度良好的同轴装配, 在辅以产品法兰分度圆为定位的装配工装, 产品同轴度装配精度良好, 间隙小于 0.2mm , 错位不大于壁厚的 15%, 可以满足焊接要求。

波纹管组件焊接位置无遮挡, 焊枪可达性良好; 采用凸台设计替代焊丝, 焊接电弧稳定, 热输入影响少; 且滚焊+熔焊的焊接方式不仅避免了层间夹气进入焊缝, 同时完全熔透, 增加了焊缝的强度和致密性。

3.3 产品检测工艺性

焊缝的检测有 X 光检测和剖切检查、单条焊缝和产品总体漏率的氦质谱检漏。由于采用内外波纹管组件分别生产, 再与法兰组装焊接成为整体的制造模式, 内外共 8 条 I 级环焊缝, 除外波纹管与法兰连接的 2 条焊缝由于遮挡无法用 X 光透照外, 其余 6 条均可进行 X 光检测。外波纹管组件与法兰之间的焊缝需通过每批次剖切件的金相检查来旁证其焊接质量。各条焊缝和产品总体漏率的氦质谱检测均可以逐一进行试验, 相互之间不存在干涉, 工艺可行性良好。

4 焊接工艺难点分析及参数控制

多层波纹管的焊缝质量以及工艺的稳定性、一致性决定了摇摆软管产品的最终性能, 焊接时需要严格控制以下焊接工艺难点。

4.1 滚焊工艺

波纹管滚焊时需要将多层薄壁管与一层厚壁接头滚焊到一起, 由于壁厚的不一致, 厚件一侧电阻大, 交界面距离电极远, 故产热多而散热少, 致使熔核向厚件一侧偏移, 偏移的结果造成薄件的一侧焊透率减小, 焊点强度降低, 甚至远离厚件一侧的薄壁焊不上, 出现分层, 通过以下工艺控制措施可以避免:

a. 采用接触表面直径不同、厚度不同的电极。在厚件 (接头) 一侧采用 8mm 厚的滚盘, 在薄件 (波纹管) 一侧采用 6mm 厚的滚盘, 以增加薄壁一侧的电流密度, 从而增加其产热量;

b. 采用不同散热能力的电极。在厚件 (接头) 一侧采用铅青铜, 减少了薄件的散热, 而在薄件 (波纹管) 一侧使用导热能力较差的铬钴铜, 保证了熔核的成型。

4.2 钨极自动脉冲氩弧焊工艺

内、外波纹管环向对接焊缝采用钨极自动脉冲氩

弧焊接工艺,用交变的峰值、基值电流进行焊接,具有能量集中、热输入小、焊接质量稳定、接头金相组织均匀等特点。为防止波纹管层间的夹气被焊接高温加热后窜入焊缝金属熔池而形成气孔,熔焊焊缝宽度必须小于滚焊焊缝,同时由于焊缝厚度较大,又必须加大焊接电流保证熔透,既保证焊缝质量又保证设计熔深。焊机采用抗干扰性强、焊接参数重复性稳定的法国 SAF 公司自动焊接系统,见图 2。焊接工装采用焊接转动夹具和带有保护装置的焊接涨胎专用工装,见图 3,保证多件产品组合焊接时错壁量最小。经反复试验,确定了焊接关键工艺参数,主要包括焊接电流、焊接速度、电弧长度、保护气体流量等。

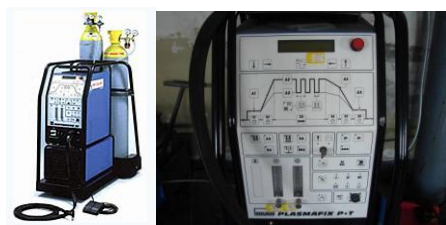


图 2 自动焊接系统



图 3 焊接工装

4.2.1 焊接电流

施焊时峰值、基值电流交替作用在焊接接头上,其中峰值电流主要保证熔深,基值电流优化焊缝成型,同时脉冲电流的采用还可以减小焊缝热影响区宽度,减小焊接变形。同时采用较大的焊接脉冲频率,以增加熔池的搅拌力,达到提高焊缝质量和增加焊接熔深的目的。如焊接电流过大,焊缝熔深增加,正面焊缝塌陷严重,而焊接电流过小,又容易形成基体金属熔合不良。因此,为获得稳定的焊接质量,焊接电流只能被限制在一个合适的范围内。

4.2.2 焊接速度

焊接速度也是影响自动焊焊接成型的重要工艺参数,在其它条件确定的情况下,焊速增加,焊缝热输入量减小,焊缝形貌变窄,严重时甚至不能将焊缝全部包裹熔融;焊速减小,母材过热,又容易影响焊接熔合及排气。而焊接速度的确定,又取决于焊接电流的大小。

4.2.3 电弧长度

电弧长度是影响焊缝质量的重要因素之一。焊接电弧过长,电弧电压高,焊缝正面宽度增加,熔透能力降低,同时由于钨极与熔池之间距离增大,电弧对熔池的搅拌作用变差,致使焊缝排气能力减弱,焊缝气孔倾向增大。如电弧过短,虽然有利于焊缝排气,但容易产生喷嘴被飞溅物粘污的现象。控制焊接弧长,电弧稳定,热量集中,熔池搅拌作用较强,焊缝气孔倾向小。

5 试验件生产情况

按新接头结构,采用滚焊+熔焊工艺进行了内、外波纹管组件的焊接工艺试验,电弧可以将基本金属完全包裹并保证焊透,焊缝成型饱满,保护优良,不存在咬边、表面气孔、夹钨等现象,见图 4。焊缝检测符合 QJ1842—95 I 级要求。随后生产了 4 件摇摆软管,检测情况如下:

a. 焊缝 X 光检测:改进后接头结构的设计,滚焊+熔焊工艺避免了波纹管层间夹气造成的气孔现象,焊缝经 X 光检测,满足 QJ1842—95 I 级要求,24 条焊缝一次交检合格率达到 100%;

b. 氦质谱检漏:对 4 件摇摆软管进行了整个真空腔的氦质谱检漏,改进后总漏率比要求值提高了一个数量级,单条焊缝漏率比要求值提高了一倍;

c. 气密性试验:对 4 件产品进行了内腔和夹层气密试验,保压 20min 后,焊缝不存在渗漏,产品全部合格。



图 4 焊接成型的试验件

6 结束语

摇摆软管接头结构经过改进,采用滚焊+熔焊的焊接工艺,解决了多层波纹管焊接后焊缝气孔缺陷、熔深浅的问题。焊缝结构致密,工艺可行性、协调性和稳定性良好,工艺攻关获得预期效果,地面疲劳寿命典试合格。经发动机摇摆热试车考核,焊接工艺确定为飞行批产摇摆软管的生产工艺。

