

- materials and clad steels production[J]. Materials Science Forum, 2011, 675-677:439-447.
- [2] Lesuer D R, Syn C K. Mechanical behaviour of laminated metal composites [J]. International Materials Reviews, 1996, 41(5):169-197.
- [3] 郑传祥. 复合材料压力容器[M]. 北京, 化学工业出版社, 2006:8-9.
- [4] 井玉安, 王晨宇. 不锈钢复合板生产技术综述[J]. 鞍山科技大学学报, 2007, 30(16):590-594.
- [5] 李永松, 沈怡琳. 不锈钢复合板制作新工艺及市场前景的研究[J]. 广西机械, 2001(4):34-36.
- [6] 秦建平, 田雅琴, 陈惠. 复合钢板的发展现状[J]. 中国稀土学报, 2005, 12(23):178-181.
- [7] 何天仁. 轧制法生产不锈钢复合板工艺研究及应用[J]. 中国冶金, 2014, 24(1):6-10.
- [8] 李龙. 不锈钢复合板的生产技术及工业应用[J]. 轧钢, 2013, 30(3):43-47.
- [9] 马志新, 胡捷. 层状金属复合板的研究和生产现状[J]. 稀有金属, 2003, 2(6):799-803.
- [10] 郑远谋, 黄荣光. 爆炸焊接和金属复合材料[J]. 上海有色金属, 1998, 19(3):121-126.

作者简介: 蒋健博, 1983 年出生, 博士研究生。主要从事不锈钢复合板和钛钢复合板制备技术方面的研究。

6A02 和 5A06 异性铝合金接头 TIG 焊工艺研究

首都航天机械公司(北京市 100076)

杭州凯尔达电焊机有限公司(310018)

运载火箭技术研究院(北京市 100076)

李洪飞 王龙 刘景铎

王光辉

吴云峰

摘要 含补偿器结构的铝合金管路产品中, 常会遇到两种不同材质的铝合金焊接接头。这种异性铝合金焊接接头的工艺要求较高, 难度较大, 容易出现热裂纹倾向。文中围绕铝合金 6A02 和防锈铝合金 5A06 异性铝合金接头焊接工艺展开研究, 选取合适的焊接材料和焊接工艺参数, 获得优质焊缝。

关键词: 6A02 5A06 Y 型坡口

中图分类号: TG401

0 前言

6A02 属于铝镁硅系合金, Mg_2Si 作为强化相, 5A06 属于高镁变形铝合金。这两种材料常用于航空、航天管路制造领域。6A02 铝合金一般是作为补偿器接头铝合金端部的主要材料, 由于存在这样的结构设计, 含补偿器结构的铝合金管路产品中就存在 6A02 和 5A06 异性合金进行焊接的要求^[1]。实际管路生产过程中, 以上两种异性铝合金焊接常出现热裂纹, 导致产品报废, 造成巨大的经济损失, 为了解决异性铝合金焊接热裂纹问题^[2-3], 文中针对如何降低焊接接头热裂纹倾向展开研究。

1 试验方法

1.1 焊接材料和焊接接头设计

焊接材料采用厚度为 2.5 mm 的 6A02 与 2.5 mm 的 5A06 铝合金, 焊丝采用 BJ380 牌号焊丝。在焊丝选用上, 考虑到 BJ380 焊丝中加入了 2% Cu 元素及细化晶粒作用的钛元素及硼元素, 抗裂性能优异。另外, 曾经采用 BJ380 焊丝的百余件产品经过了 X 射线检测、液压试验、气密试验和冷冲击试验考核, 可靠性较强。焊接坡口选择上, 对比采用 I 型坡口和 Y 型坡口 2 种焊接坡口形式。这 2 种坡口都满足焊透要求, 为了考虑降低热输入的影响, I 型坡口采用单层焊, Y 型坡口采用双层焊。Y 型坡口角度为 45°, 钝边尺寸 1 mm。为了还原实际产品的焊接状态, 焊接试验件中也包含补偿器接头部分, 如图 1 所示。

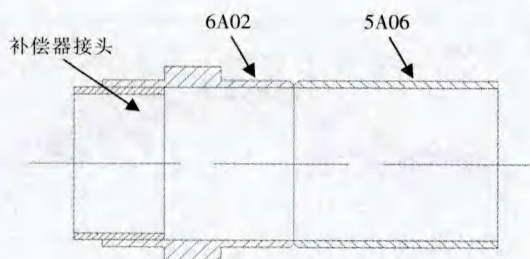


图1 Y型焊接坡口设计示意图

1.2 焊前准备

(1) 为了清除焊接端口可能存在的油污和水迹。需对焊接端口的内外表面 40 mm 宽度范围内用丙酮进行清洗。清洗后用绸布擦干焊接端口。

(2) 6A02 位于补偿器接头一侧，补偿器中包含钎焊接头，因此无法使用化学清理办法。文中使用风钻设备，配备磨砂纸对铝合金端面进行机械打磨直至露出基本金属，打磨完成后立即进行焊接。

(3) 焊接试验件中加入了补偿器接头部分，补偿器接头是不锈钢与铝合金进行焊接，采用的是钎焊连接^[4]。文中通过焊接过程模拟仿真，预判出钎焊接头部位如果不加入其他冷却措施将由于焊接热传导导致钎焊接头出现高于 400 °C 的热循环，如图 2 ~ 图 3 所示。铝合金在焊接过程中对湿度的要求非常高，在焊接过程不可采用水冷方式对补偿器接头部位进行冷却。文中采用厚度为 0.3 mm，宽度为 30 mm 铜箔对钎焊接头进行缠绕的方式在焊接过程中降低钎焊接头的温度。0.3 mm 规格的铜箔刚度低，能够缠绕在各种管径的钎焊接头部位，并和钎焊接头表面金属形成紧密配合，对钎焊部位实施有效保护。

(4) 焊接前对端面进行校正，保证管壁错壁量小于壁厚 15%，配合间隙不大于 0.1 mm。

1.3 焊接工艺试验

工艺试验采用高纯氩气作保护气，焊接方式采用

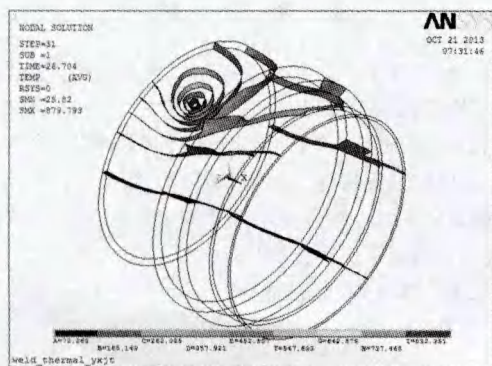


图2 焊接过程温度云图

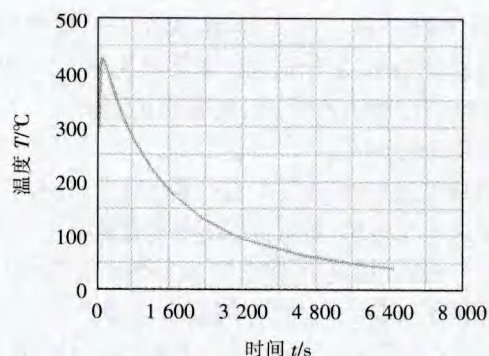


图3 钎焊部位焊接过程温度循环

钨极氩弧焊。焊接顺序为定位焊后再进行整个环缝焊接。焊接定位点设置为 4 点，对称施焊，且在圆周方向内均匀分布。定位点长度在 5 ~ 10 mm 左右，定位点高度保持在坡口深度的 2/3 左右，确保定位点焊透。I 型对接接头可采用手工 TIG 焊方式，达到单面焊接双面成形的效果。Y 型坡口则采用两层焊，通过减小焊接电流来降低热输入，同时两层焊还可以起到降低冷却速度、提高焊缝金属延伸率的作用，抑制焊接裂纹的产生。两层的工艺参数有区别，第一层的焊接工艺参数要低于第二层，见表 1、表 2。第二层焊接时采用频率为 2 ~ 4 Hz 的焊枪摆动。

表1 1.5 ~ 2 mm 厚度异种铝合金焊接参数

层数	电流	气体流量 $Q/(L \cdot \min^{-1})$
第一层	40 ~ 70	8 ~ 10
第二层	40 ~ 60	8 ~ 10

表2 2 ~ 4 mm 异种铝合金焊接工艺参数

层数	电流 I/A	气体流量 $Q/(L \cdot \min^{-1})$
第一层	60 ~ 90	10 ~ 12
第二层	60 ~ 80	10 ~ 12

2 试验结果及分析

2.1 焊缝外观检测及射线检测试验

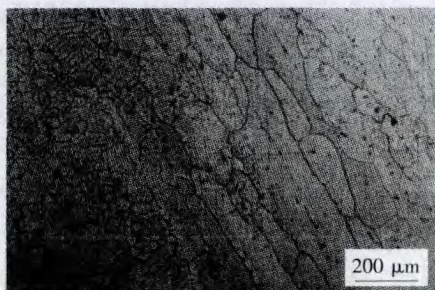
(1) 外观检测 焊后进行外观检测，焊缝表面和母材金属圆滑过渡，焊缝表面熔宽约为 8 mm，I 型坡口焊缝一次熔透，背面熔宽约为 4 mm。Y 型坡口焊缝成形和 I 型坡口成形一致，焊缝表面熔宽约为 9 mm，背面熔宽约为 5 mm。焊缝表面鱼鳞纹左右均匀叠加，有明显的焊枪摆动。

(2) 射线检测 进行 100% X 射线检测，I 型坡口焊缝出现热裂纹，裂纹位于 6A02 铝合金熔合线一侧。Y

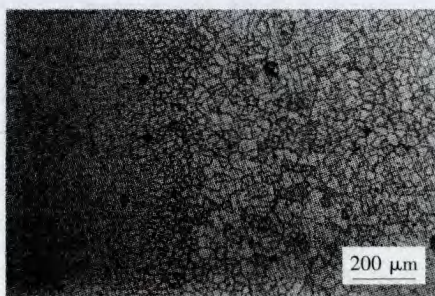
型坡口为 I 级合格。这是因为 BJ380 焊丝中加入了 2% Cu 元素及细化晶粒作用的钛元素及硼元素, Y 型坡口比 I 型坡口的熔合比更小, 抗裂性能更好。

2.2 金相组织分析

对出现裂纹的焊接接头进行金相组织分析。BJ380 焊丝中加入了少量钛、硼元素, 致使焊缝中心全部为等轴晶, 晶粒度一致。但是这两种铝合金熔合线部位对热输入的敏感性不一样。5A06 一侧熔合线没有出现明显的柱状晶生长, 晶粒较小。6A02 一侧熔合线出现明显的柱状晶生长, 生长方向平行与 6A02 母材的锻压方向。6A02 靠近熔合线一侧母材有明显的晶粒长大。同一个方向的晶粒长大, 晶界相连, 导致此处热裂倾向较强, 如图 4 所示。为了对热输入进行改善, 文中提出 Y 型坡口设计, 并通过多层焊接, 加上焊枪摆动能够通过降低热输入, 达到降低焊缝热裂纹倾向的作用。



(a) 6A02 一侧熔合线



(b) 5A06 一侧熔合线

图 4 金相组织

2.3 显微硬度试验

对焊接横截面 1/2 位置进行维氏显微硬度试验, 得到母材区、焊缝区和熔合线区的硬度分布。由于 BJ380 焊丝作为填充金属, 得到晶粒细小的等轴晶, 焊缝金属硬度高于母材区和熔合线区。6A02 熔合线区硬度最低, 从金相组织分析发现此处金属有较为明显的晶粒长大, 还伴随有大量柱状晶, 从而导致此区域软化。采用 Y 型坡口以后熔合线部位的软化现象有了一些改善, 如图 5 所示。

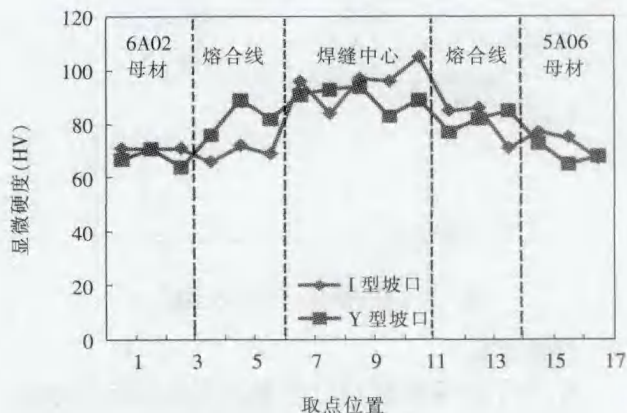


图 5 显微硬度试验结果

2.4 液压、气密性试验

将 Y 型坡口焊接试验件两端进行封堵, 先向管内充满纯净水, 通过端口的接管嘴和液压试验台相连, 将内部压力升至 0.9 MPa, 保持 0.9 MPa 压力 5 min, 没有发现任何液体渗漏。卸压后, 将试验件和气密试验台相连, 并完全浸泡入纯净水槽中, 将内部压力提升至 0.6 MPa, 保持 0.6 MPa 压力 5 min, TIG 焊缝和钎焊焊缝都没有发现气体泄露的情况。

3 结 论

(1) 含补偿器组件的铝合金管路产品不可避免的会遇到 6A02 与 5A06 异种铝合金焊接, 焊接过程中极易在 6A02 熔合线部位出现热裂纹。通过金相分析和显微硬度测试, 发现熔合线附近金属晶粒长大以及熔合比不够导致热裂纹缺陷的发生。

(2) 为了解决焊接热裂纹问题, 从降低单次热输入和提高熔合比两个方面出发提出优化的工艺方案。通过 Y 型坡口设计, 增加了熔合比, 让焊缝抗裂性更强, 并通过两层焊, 降低了单道焊缝的热输入, 并验证了 BJ380 焊丝较为优异的抗裂性能。

参 考 文 献

- [1] 陆 洋, 王泽华. 铝合金钎焊用钎料的发展动态[J]. 机车车辆工艺, 2007(1): 1-4.
- [2] 鲍俊娟, 高志广. 2A50 铝合金钎焊钎料与钎剂的选择[J]. 机械工程材料, 2006, 30(12): 41-44.
- [3] 刘树英. 钎剂对铝合金与不锈钢大气钎焊性影响的二重性[J]. 热加工工艺, 2009, 38(15): 97-99.
- [4] 吕志成. 燃气用铜管的钎焊连接技术[J]. 新技术新工艺, 2007(5): 22-24.

作者简介: 李洪飞, 1979 年出生, 高级工程师。