

铝合金钣金零件小曲率半径U形接头焊接工艺优化

王燕　杨世亮　戴浩　李智勇

【摘要】本文通过设计使用兼具焊缝背面气体保护与成形控制功能的焊接工装，优化焊接参数，成功解决了铝合金钣金零件的小曲率半径U形接头TIG焊缝背面未熔合缺陷、成形不良及裂纹缺陷问题，较原气焊焊缝的质量及其稳定性提高。

关键词：铝合金钣金；焊接工艺；U形接头

气焊因其热源分散，焊后零件变形大，焊缝较易存在气孔与夹渣缺陷，焊件质量较差，并且气焊焊剂清洗不净会产生腐蚀，所以在航空工业中的应用减少，已逐步被较之先进TIG焊等工艺方法取代。但一些手工成形的薄壁铝合金钣金零件的焊接接头间隙大且不均匀，不利于TIG焊接，尤其是为满足飞行气动流线外形要求，某些钣金零件的焊接接头设计为小曲率半径的U形接头，该类型接头若采用TIG焊代替原气焊方法，存在较大的工艺应用难点。本文选取生产中典型结构零件，分析TIG焊缝缺陷产生原因及控制方法，通过焊接工装的使用与工艺参数的优化，攻克该零件TIG焊工艺的应用难点。

1. 焊接工艺应用难点

（1）焊接结构　本文选取的典型零件是具备流线外形的铝合金钣金焊接件，其结构如图1所示，该零件的材料牌号为6A02，厚度为1.0mm，是将展开板料手工剪裁、折弯、预成形工序后，焊接图1中左右两端U形对接接头最终成形。 左、右两端焊接接头的曲率半径*R*很小，分别为3.8mm，1.0mm，受该件的小曲率半径U形对接接头形式所限，该零件一直沿用传统的气焊焊接方法。

（2）气焊工艺生产问题　因气焊操作工人可以根据零件接头间隙的变化情况，调整能量的输入，以控制熔池的大小、液态金属的粘度及表面张力，从而获得尺寸均匀的焊缝。但在实际生产中，采用气焊工艺方法焊接，该典型零件存在焊缝质量和工作效率等方面问题。

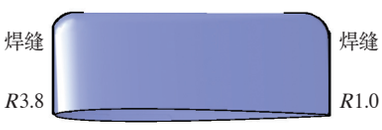


图1　典型小曲率半径U形接头铝合金钣金焊接件

第一，焊剂去除氧化膜效果不如氩气保护效果好，焊缝经常出现气孔、夹渣缺陷，图2为试件荧光渗透检测照片，较大的不规则形状缺陷为夹渣，较小的圆形缺陷为气孔，线型缺陷为横向裂纹。

第二，由于气焊焊接变形大，该典型零件两端焊缝部位，尤其是*R*1.0mm端的流线形外形尺寸不易保证，进而影响该零件的装配精度。

第三，6A02铝合金易产生焊接裂纹，当焊接热输入控制不当时，焊缝会出现图2所示裂纹。

第四，气焊相比TIG焊增加了焊剂配制与清洗工序，同时还增添了清洗槽液的定期维护工作，并且焊剂与槽液的化学成分为有毒有害物质，污染环境、有

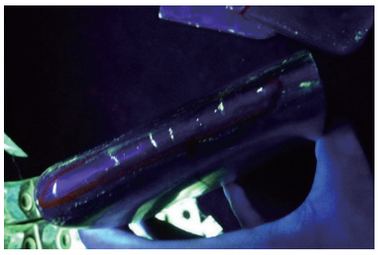


图2　典型零件气焊焊缝缺陷（荧光渗透检测照片）

碍健康。

第五，气焊工艺对焊工技能水平要求高，受人工操作影响大，焊缝质量不稳定。

（3）TIG焊工艺方法应用难点　因该件气焊生产中存在上述问题，改用TIG焊接方法进行工艺试验，当采用标准推荐的常规工艺参数焊接，发现试件焊缝始终存在背面未熔合与焊缝成形不良缺陷。

首先，焊缝背面未熔合缺陷。按HB/Z119《铝及铝合金熔焊工艺及质量检验》要求，常规铝合金焊接背面不需气保护，但典型零件不采取背面气保护，焊缝背面存在“黑线”，甚至是严重的未熔合缺陷，如图3所示。分析其原因是铝合金材料易氧化，手工成形零件的接头间隙大，并且该件焊接结构空间狭小，不便于接头坡口处氧化膜清理操作，焊前坡口的氧化膜与焊接过程中无气体保护的熔池背面产生的氧化膜造成未熔合缺陷。为避免该缺陷的产生，应严格控制焊前清理与焊接过程中背面气体保护。

其次，焊缝成形不良缺陷。典型零件焊缝尺寸存在背面余高过高，不符合HB/Z119中背面余高≤1.5mm的要求，并且焊缝成形性差，宽度不均匀，影响组件的安装装配，如图4所示。分析其原因是手工剪板不直造成焊接接头间隙不均匀，预成形过程变形大的部位变薄，致使材料厚度不一，如拐角处厚度最薄，同一焊接电流参数值不能适应变化的接头间隙与材料厚度，造成局部的电流密度过大，相应填丝量增大，焊缝成形不均匀。另外，由于散热不及时，焊接过程零件温度不断升高，热输入量的增加造成后段焊缝尺寸相应增大，致使薄壁零件熔池金属受到重力和电弧吹力促使熔池下塌，造成焊缝余高过高缺陷。为控制薄壁零件的焊缝尺寸均匀度与余高高度，应尽量减少并视情况调整焊接时的热输入，或给予熔池金属向上的托力与焊缝成形控制。

2. 焊接工装设计应用

借鉴厚板采用衬垫控制焊缝背面成形高度的方法，设计兼具背面气保护及衬垫功能的典型零件专用焊接工装，并通过工艺试验验证其使用效果，逐步优化设计，最终实现工装控制焊缝成形、焊缝缺陷、焊接变形的功能，该工装结构如图5所示。

（1）工装材料的选取　考虑铜材料散热快，选用纯铜材料T2，理论上铜和铝材料在焊接时会粘黏，但用铜衬垫进行该薄壁零件焊接工艺试验，未发现明显粘黏现象。

（2）工装外形尺寸　按零件数模加工型面，经工艺试验发现*R*1.0mm端厚度太小，对焊缝产生了挤压，不利于背面焊缝成形，因此将*R*1.0mm端工装厚度在零件数模尺寸的基础上加大1mm。

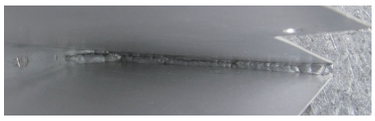


图3　典型零件*R*1.0mm端焊缝背面未熔合缺陷

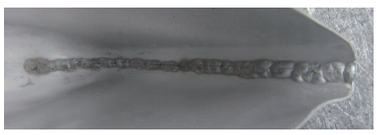


图4　典型零件*R*3.8mm端焊缝背面成形不良缺陷

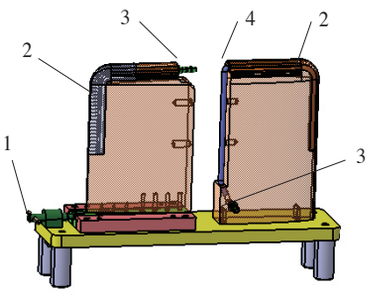


图5　典型零件焊接工装

1.工装位置调整螺栓　2.通气孔、成形槽　3.通气嘴　4.预置通气铜管

（3）工装气保护功能设计　在工装内预置通气铜管，在工装型面上钻通气小孔。通气孔直径应尽量减小，但考虑钻孔难度，选择孔径为1.0~1.2mm，小孔间距8mm左右。

（4）工装焊缝成形槽　成形槽深度0.5mm，*R*3.8mm端宽度为5mm，*R*1.0mm端工装厚度太薄，由钳工按工装实际尺寸加工成形槽，再视工艺试验焊缝成形效果，进行精修挫。

3. 典型零件TIG焊工艺优化

（1）焊丝选择　分别采用牌号4A01、ER5356、6A02焊丝焊接，发现ER5356焊丝焊接时流动性最好，焊缝成形最佳，其次为4A01。但是，ER5356与4A01与母材成分不一致，其热处

理后强度不及6A02，并且零件经铬酸阳极氧化表面处理后，焊缝与母材色差较大，焊缝发黑。因此，在选用6A02焊丝焊缝性能质量能达到图样及标准要求时，首选6A02焊丝。

（2）电流参数优化　按HB/Z119要求1mm铝板选用的电流为40~50A，分别采用35A，42A，46A，52A的电流进行焊接工艺试验，发现电流为35A时，当零件与焊接工装贴合紧密散热快时，电流值偏小，不易形成熔池；电流值增大至42A，焊缝成形好；当电流继续增大至46A时，在拐角处弯焊缝余高过高；但当电流值为52A时，电流过大，焊缝成形不佳。因此，直线段焊接推荐选用电流为42A左右，拐角处焊接电流需适当减小。因钣金成形造成板厚变薄，变形大的地方，实际厚度不到1mm，因此需相应降低标准中电流值，将原标准中1mm铝板焊接电流40~50A调整为35~43A，同时避免在拐角处停顿，随着焊件和工装温度升高，焊工需相应提高焊接速度。为控制焊缝尺寸，在保证焊缝焊透的前提下，尽量采用小电流值焊接。

（3）定位焊点分布及焊接顺序优化　采用优化后的工装及电流焊接时，发现在收弧位置极易出现横向裂纹。为避免裂纹产生，尽量不在应力集中的拐角处定位焊，并将收弧位置固定到直焊缝下端，正确的焊接顺序为：先焊平焊缝，再焊拐角弯焊缝，最后为直焊缝。

另外，为保证零件与焊接工装的贴胎度，定位焊与焊接均需在配套胎上完成。焊接时，零件与焊接工装配合不能过紧，需留有一点间隙，避免贴合过紧影响氩气保护流动空间，工装散热过快影响熔池凝固状态，并对焊缝造成挤压。

（4）氩气流量优化　按HB/Z119推荐使用的气流量为每分钟6~7L。工艺试验发现，气流量选择过小时，焊缝表面有毛刺，不光滑、光亮，为此在不影响焊缝成形的前提下，适当增大正面气流量可使焊缝表面更光滑、光亮。但手工成形的典型零件在拐角位置焊接接头间隙较大，此位置背面气流速度也相对增大，在焊接过程中需在拐角位置将气流量适当调小，直线段恢复正常值。

（5）焊接清理要求　典型零件经焊前碱腐蚀清洗，坡口可能会残留氧化皮及污物，并且在工序周转和贮存期间发生二次污染，清理不干净，会造成焊缝背面出现氧化膜“黑线”，因此需严格执行焊前机械清理工序，焊前刮削清理坡口，可有效控制焊缝背面出现“黑线”现象。

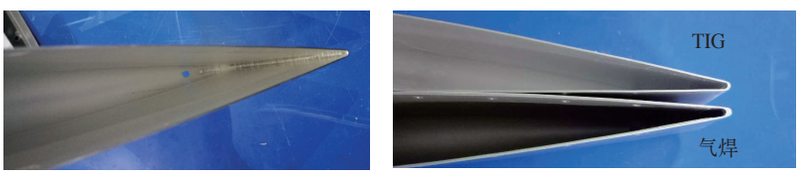
4. 工艺优化效果

（1）外观检测　图6a电流值为35A时，典型零件R1.0mm位置的TIG焊缝背面照片，其焊缝尺寸满足标准与图样要求。对比TIG与气焊焊接接头端面照片（见图6b），TIG焊接变形小，对端面的流线外形较气焊影响小。TIG焊试件经荧光渗透检测后未发现裂纹、气孔、夹渣缺陷，焊缝质量优于气焊。

（2）力学性能检测　对气焊与TIG焊接试片进行拉伸性能检测，TIG焊拉伸试样均在热影响区断裂，抗拉强度大于6A02－T6材料标准强度要求，并且略大于气焊试样抗拉强度。但试样的伸长率的检测结果波动性较大，由此检测数据结果判定气焊、TIG焊缝的韧性意义不大。

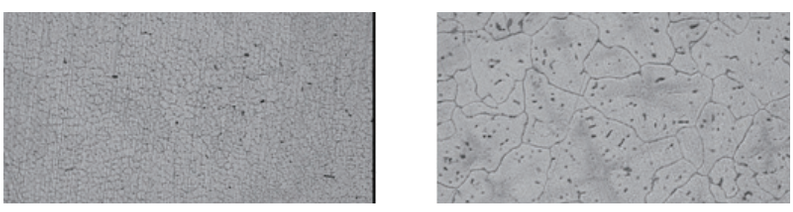
设计简单的敲击试验：裁剪零件相同部位焊缝进行敲击试验，将试件敲平，发现TIG焊与气焊R1.0mm端焊缝根部均发生脆裂，TIG焊缝一次敲击试件裂开长度大于气焊试件，定性分析TIG焊缝韧性略低于气焊。

（3）低倍金相检测　图7为



（a）TIG焊背面焊缝　（b）TIG与气焊焊缝接头端面对比

图6　典型零件R1.0mm端焊缝照片



（a）TIG焊缝显微组织×100　（b）气焊焊缝显微组织×100

图7　典型零件焊缝低倍金相照片



某型雷达铝合金天线连接支耳焊接工艺分析

金志飞　黄春燕　曹国光

【摘要】本文通过对雷达铝合金天线连接支耳的焊接性进行分析，结合焊接试验，选取了优化的焊接参数，制定了合适的焊接工艺，进行了焊接工艺评定。评定结果表明，焊接接头力学性能良好，未发生焊接缺陷，焊接质量良好，最终应用于雷达铝合金天线连接支耳的焊接生产。

关键词：雷达；连接支耳；焊接性

1. 概述

随着雷达技术的不断发展，对雷达整体结构要求越来越高，雷达天线连接支耳是天线骨架连接边骨架的转动机构，在运输状态下，边骨架沿着连接支耳翻转收合于骨架上下便于运输，工作状态打开成天线工作面，在雷达应用中起着关键作用，如图1所示。传统的雷达天线连接支耳采用碳钢制造，质量大，耐腐蚀性差，某新型雷达采用铝合金制造天线连接支耳。由于铝合金具有重量轻、耐腐蚀性、比强度高等特点，所以目前广泛应用于航空航天、汽车、船舶、高铁等各种焊接结构生产中。本文所介绍的雷达铝合金天线连接支耳材料为5A05铝合金，针对此种材料进行了焊接工艺评定，以用于指导雷达铝合金天线的制造。

2. 5A05焊接性分析

5A05为铝镁系防锈型铝合金，不能热处理强化，退火状态塑性好。该合金的镁含量较高，强度较低，抗腐蚀性高，在工业区和海洋氛围中均有较高的耐蚀性合金冷变形可以提高强度。退火状态的塑性较高，半冷作硬化状态的塑性尚可。合金的耐蚀性好，焊接性尚可，主要采用的焊接方法为TIG焊接或者MIG焊接。5A05用于制作在液体环境中工作的焊接零部件、管道和容器

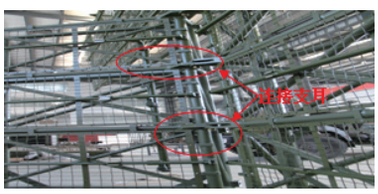


图1　某型雷达天线

典型零件焊缝截面低倍金相察照片。观察图7a与图7b，发现TIG焊缝晶粒比气焊焊缝晶粒细小很多，据此可解释TIG焊接头强度高于气焊，韧性低于气焊。并且，TIG焊焊缝与母材的过渡不如气焊平滑。因此，需严格控制TIG焊的电流值，采取小热输入焊接，并避免焊缝成形不良造成应力集中。

5. 结语

通过设计使用具有背面气体保护功能与焊缝成形控制的焊接工装，避免了小曲率U形接头TIG焊背面焊缝未熔合与成形不良缺陷，并且可以有效控制焊接变形。TIG焊接方法在典型铝合金钣金零件的小曲率半径U形接头上的应用，确保了零件装配精度，显著提高了零件生产效率、焊缝质量及产品合格率。但考虑TIG焊缝韧性低于气焊、焊缝与母材间过渡不如气焊平滑，因此，焊接过程需严格控制焊接工艺，采用小的热输入，尽量减小焊缝尺寸，避免应力集中降低零件服役寿命。

作者简介：王燕等，中航工业昌河飞机工业（集团）有限责任公司。

MW 20170519