

某滑梯喷嘴组件加工工艺研究

吴峰¹, 宋泓宇², 吴超¹, 李现锋¹, 勾晴林¹, 宋霖霖¹, 郭宇杰¹

1. 航空工业航宇救生装备有限公司 湖北襄阳 441000

2. 西安建筑科技大学 陕西西安 710311

摘要: 针对应急撤离滑梯喷嘴组件采用常规手工钨极氩弧焊易存在变形、烧穿、焊瘤缺陷等问题, 通过对喷嘴组件加工工艺分析研究, 采用多种加工工艺进行试验筛选, 开发了高频脉冲弧焊和真空钎焊等方法, 保证了喷嘴组件焊接质量, 解决了型号研制的加工瓶颈。同时, 通过对几种加工方法进行对比分析, 确定了不同产量需求下的加工工艺措施, 为滑梯喷嘴组件的高质量制造提供了解决方案。

关键词: 喷嘴组件; 小直径超薄壁; 铝制管件; 工艺试验

Research on processing technology of a slide nozzle assembly

WU Feng¹, SONG Hongyu², WU Chao¹, LI Xianfeng¹, GOU Qinglin¹, SONG Leilin¹, WU Yujie¹

1. AVIC Aerospace Life-support Industries Co., Ltd., Xiangyang 441000, Hubei, China

2. Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710311, Shaanxi, China

Abstract: To solve the problems of deformation, burning-through and burring defects of nozzle assembly of emergency evacuation slide during the conventional manual argon tungsten arc welding, the technicians made analysis and research on the processing technology of nozzle assembly. By screening tests of various processing techniques, the processing methods such as high-frequency pulse arc welding and vacuum brazing are determined. Thus, the welding quality of nozzle assembly are guaranteed and the problems during the model development are solved. Meanwhile, the processing methods under different production demand are determined through the comparative analysis, which provides a solution for the high-quality manufacturing of slide nozzle assembly.

Keywords: nozzle assembly; small diameter ultra-thin wall; aluminum pipe fittings; processing test

1 序言

应急撤离滑梯(以下简称“滑梯”)属于机载应急撤离辅助设备, 是大中型民用飞机在紧急情况下辅助乘客从应急出口安全快速地撤离至地面或水面的应急设备, 部分型号的滑梯还兼具救生筏的功能。由于滑梯是一种充气式的离机救生装备, 因此应急撤离时, 滑梯充气速度的快慢决定了能否成功

救援。而滑梯引射器喷嘴组件的质量对滑梯的充气性能有直接影响, 是实现滑梯在规定时间内充气成形的功能部件。

引射器喷嘴组件采用小直径超薄壁铝制管件焊接结构, 与国外同类产品结构相似, 国外产品采用火焰钎焊, 焊接温度控制不当时易产生钎料内溢。目前, 使用常规的手工钨极氩弧焊焊接方法会造成

第一作者: 吴峰, 高级工程师, 高级技师, 主要从事航空材料焊接及工艺研究, E-mail: 1005320286@qq.com。

结构严重变形、焊缝部位烧穿、产生内部焊瘤等缺陷，直接影响产品功能。

2 加工工艺分析

2.1 产品结构

喷嘴组件（见图1）由进气管、引气环和喷嘴3部分组成。最小管喷嘴外径3.8mm，内孔为锥度孔，壁厚为0.7~0.9mm；最大进气管外径11.8mm，壁厚为1.4mm；引气管为弯形件，外径为5.9mm，壁厚为1.45mm，喷嘴在其圆周上均匀分布，相邻两喷嘴的直线间距为12mm，材料均为防锈铝合金。

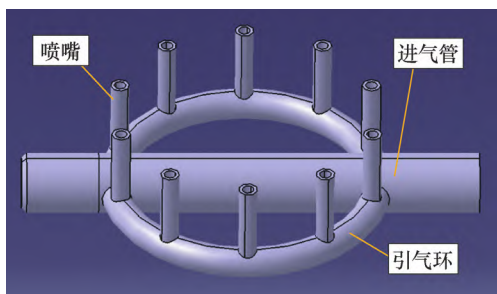


图1 某型喷嘴组件结构

2.2 设计要求

喷嘴组件加工后，产品应无砂眼、不漏气，各管内壁光滑；之后与引射器（见图2）的壳体焊接牢固。

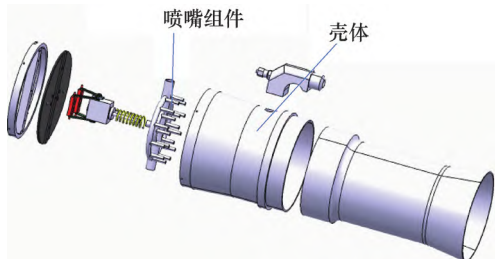


图2 引射器结构

2.3 工艺方法

（1）金属3D打印 由于喷嘴管件结构复杂，若采用焊接结构，机械加工和焊接难度较大。随着金属3D打印技术的普及，铝合金结构的3D打印已较为成熟。为解决验证件的生产加工难题，保证研发进度，喷嘴管件验证件（见图3）材料为AlSi10Mg铝合金粉末，采用激光选区熔化技术进行金属3D打印加工。

首件喷嘴组件3D打印后，为了满足3D打印的喷嘴组件与5A06铝合金壳体焊接的可靠性，通过开展AlSi10Mg合金与5A06铝合金异种材料焊接性能试验，得知其焊缝使用性能及工艺性能良好，但仍然



图3 验证型号喷嘴组件3D打印件

存在以下问题^[1, 2]。

1) 金属3D打印件的表面粗糙度相对传统机械加工工艺要差，一般为10~50 μ m，影响气体流速。

2) 金属3D打印价格昂贵，生产成本较高。

通过首次功能验证，该引射器无法实现滑梯规定时间内充气成形的功能要求，进行设计分析后判定，3D打印的喷嘴组件表面粗糙度差是影响功能的主要因素，需要对喷嘴组件进行结构调整，并重新采用焊接方式进行加工。

（2）组装焊接成形 铝对光、热的反射能力较强，熔化前无明显色泽变化，人工操作时，操作人员对于熔池形状的观察困难，容易产生烧穿、塌陷等缺陷；因铝的比热容、电导率、热导率比钢大，焊接时的热输入向母材迅速流失，故熔焊时需采用高度集中的热源。目前，航空工业航宇救生装备有限公司大部分铝合金产品均采用手工钨极氩弧焊方法焊接，但对于超薄壁管（1mm以下）的铝合金结构，仍没有理想的焊接方法。

虽然采用焊接方式存在较大难度，但随着行业的不断发展，新设备新方法的逐渐应用，一些新型钎焊设备、高频低热输入设备的问世也给该产品的成功焊接提供了可能。基于上述分析，在现有焊接技术中，该铝合金结构通过钎焊、熔焊方式实现的可能性较大。因此，需要寻求新的焊接方法，通过试验来攻克小直径薄壁铝制管件焊接难题。

3 焊接工艺试验及实施效果

3.1 工艺试验准备

（1）材料 选用钎焊和熔焊焊接性好的3A21铝合金。

（2）设备 内部焊接设备：钨极氩弧焊机；外部焊接设备：高频脉冲弧焊机和炉中钎焊设备。

（3）工装 由于铝的热导率是碳素钢的3倍，故对铝合金焊接变形的控制要比碳素钢结构难度更大。加之引气管为弧形，焊接加热后应力释放，变形难以控制，各喷嘴垂直度不易保证，因此焊接时

必须使用焊接夹具（见图4）。



图4 喷管组件焊接定位夹具

另外，为了保证加工后各连接焊缝不漏气的设计要求，焊接后需要对结构进行气密性检测，因此制作了气密性检测工装。

(4) 材料焊前处理 由于铝合金表面的氧化物会影响熔焊及钎焊过程的顺利进行，焊缝易产生气孔、夹杂、未熔合及未焊透等缺陷，因此在焊前进行化学碱洗，并包裹密封待用。

3.2 工艺试验过程

(1) TIG（常规手工钨极氩弧焊）焊接 现有的TIG焊接是铝合金常用的焊接方法，常用于焊接厚度在2mm以上的板件和管件，而该喷嘴组件喷嘴壁厚仅为0.7mm，且管内要求光滑无焊瘤。对于该结构，采用TIG焊不仅对操作者技术水平要求高，而且要求设备在小电流下焊接稳定，有较大难度。为此，在人员资质上，要求具有航空熔焊技术Ⅱ级资格焊工进行操作。

1) 焊接设备：氩弧焊机MW4000JOB；焊接电流50~70A；氩气流量5~8L/min；焊丝牌号SA1Mn（HS321）、焊丝直径2mm；电源极性为交流。

2) 焊接方法：先在工装上进行定位焊，然后按要求进行满焊。

3) 焊后检测：经过TIG焊接的零件，焊缝尺寸较大；零件剖切（见图5）后，在管内焊接部位出现明显的焊瘤，焊瘤产生率达到50%~70%，而且无法清除，影响产品使用功能，因此该种焊接方式不能满足设计要求，需要寻求新的加工方法。

(2) 高频脉冲弧焊 通过调研相关焊接设备厂家，决定采用高频脉冲弧焊设备解决该铝合金喷嘴组件产生焊瘤问题。高频脉冲弧焊是一种类似激光焊（0.01~15kHz）的TIG焊，焊接薄件时，电弧更

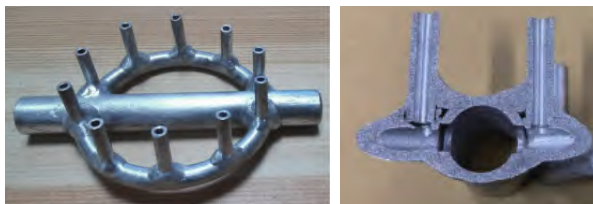


图5 TIG焊接的喷嘴剖面

为稳定，即使3A的小电流也可以聚弧，并可击穿铝合金表面氧化膜。

1) 焊接参数：INVERTIG.PRO digital智能焊机，焊接电流40A，交流电源。

2) 焊后检测：经过高频脉冲弧焊焊接，喷嘴组件（见图6）焊缝外观良好，无表面气孔、未熔合等外观缺陷。进行气密性检测，气体压力在0.5MPa下整体浸入水中1min，无气泡逸出，焊缝密封性能符合要求。经过对喷嘴进行剖切破坏检查，各喷嘴内焊缝背部光滑、无焊瘤。



a) 喷嘴组件

b) 剖面图

图6 高频脉冲弧焊焊接的喷嘴组件及剖面图

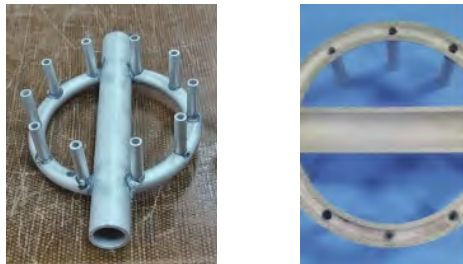
(3) 炉中钎焊 高频脉冲弧焊法工艺试验虽然取得了成功，但考虑该方法为手工操作，对操作人员技术水平依赖程度高，生产效率低，而随着中国民用飞机产业的发展，该产品存在大量增长需求，因此需要进一步寻求新的、高效的加工方法。喷嘴组件在国外有成功的钎焊案例，故可通过真空钎焊方法对喷嘴组件进行试验加工。

1) 焊接参数：设备型号ZIO-ZHS-350铝真空钎焊炉，焊丝AlSi-1，熔点580℃，焊接温度600~610℃。

2) 焊后检测：经过炉中钎焊焊接，喷嘴组件（见图7）焊缝外观良好，焊缝流布较小，焊缝表面无气孔、未熔合等外观缺陷。经过对喷嘴进行剖切破坏检查，各喷嘴内焊缝部位光滑、无焊瘤。

3.3 实施效果

1) 通过喷嘴组件焊接试验，常规的TIG焊接后，管内焊接部位多处出现明显的焊瘤，不能满足



a) 喷嘴组件

b) 剖面图

图7 炉中（真空）钎焊焊接的喷嘴组件及剖面图

管内表面粗糙度要求，同时焊接难度大，焊缝成形不良。

2) 通过高频脉冲弧焊法焊接工艺试验，由于其具有更低的稳定电流，更集中的能量，因此所焊产品结构变形小，管内无焊瘤及过熔现象。

3) 采用炉中钎焊焊接的喷嘴组件，因其钎焊温度可控，管内完全可以避免焊瘤产生，结构基本不产生变形，利用钎料的润湿性，批量生产效率较高。

试验结果证明，喷嘴组件采用高频脉冲弧焊法和炉中钎焊焊接后，结构外形尺寸和焊缝质量符合设计要求，可实现1mm以下薄壁铝合金的高质量焊接，试验取得成功。

4 加工方法对比分析

依据试验效果，并根据现有需求和条件，对4种加工方式进行了对比分析（见表1），确定了高频脉冲弧焊法作为滑梯喷嘴组件小批量焊接的加工工艺方法；将炉中钎焊作为滑梯喷嘴组件大批量焊接的加工工艺方法。随着金属3D打印技术的推广应用，并通过磨粒流技术，解决了金属3D打印喷嘴内壁表面粗糙度差的问题后，金属3D打印也可以作为该产品生产加工的备用方案。

5 结束语

通过对喷嘴组件进行焊接工艺研究，采用多种加工工艺进行试验，成功开发了高频脉冲弧焊和真空钎焊等多种加工方法，保证了喷嘴组件的焊接质量，解决了型号研制的瓶颈问题。随着我国大飞机投入商用，应急撤离滑梯应用前景广阔，应急撤离滑梯射引器喷嘴组件的成功研制，为后续应急撤离滑梯产品市场开拓提供了有力的技术支持，可以更快地抢占民用飞机市场，未来将获得较好的经济效益。

表1 多种加工方式对比

加工类别	加工方法	可加工性	优缺点	日产能	适用条件
增材制造	金属3D打印	良	无焊点，不存在焊瘤及焊漏等缺陷，但价格贵（5000元/件），管内粗糙度差，需要进行解决	8~10件/台（设备），可一次成形，省去单件加工时间	该技术逐渐成熟，可在磨粒流能解决内壁表面粗糙度差问题后使用
	普通TIG焊	一般	焊接后在管内易产生焊瘤（占比50%以上），效率低	4~6件/台（设备）	仅用于结构验证
焊接加工	高频脉冲弧焊	良	焊后在管内产生焊瘤概率比普通TIG焊减小，但效率低，可实现自行加工，成本不高（设备20万元）	6~8件/台（设备）	用于小批量生产，仅需购置设备即可自主加工生产
	炉中真空钎焊	好	焊后不会在管内产生焊瘤，效率高，但设备成本较高（200万元），每件焊接成本500元左右	40~60件/台（设备）	用于大批量生产，需采购设备或委托外部协作

同时，本研究工作为小直径超薄壁铝制管件的增材制造与焊接加工提供了新的思路和方法。

参考文献：

[1] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册（第2卷）：材料的焊接[M]. 2版. 北京：机械工业出版社，2001.

[2] 吴峰，吴超，樊健，等. 3D打印材料AlSi10Mg与5A06焊接工艺研究[J]. 金属加工（冷加工），2019（S2）：121-123.

MW 20240424

（上接第20页）

Measurement, 2014, 63（3）：667-679.

[16] LIU Q, CHEN X, GINDY N. Investigation of acoustic emission signals under a simulative environment of grinding burn[J]. Int. J. Mach. Tool Manu., 2006, 46: 284-292.

[17] MOHAMMED A, FOLKES J, CHEN X. Detection of grinding temperatures using laser irradiation and acoustic emission sensing technique[J]. Mater. Manuf. Process, 2012, 27（4）：395-400.

[18] YANG Z S, YU Z H, XIE C, et al. Application

of Hilbert-Huang Transform to acoustic emission signal for burn feature extraction in surface grinding process[J]. Measurement, 2014, 47: 14-21.

[19] GAO Z Y, LIN J, WANG X F, et al. Grinding burn detection based on cross wavelet and wavelet coherence analysis by acoustic emission signal[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2019, 32（4）：10.

[20] MALLAT S. 信号处理的小波导引：稀疏方法[M]. 3版. 戴道清，杨力华，译. 北京：机械工业出版社，2012.

MW 20240805