

柔性薄壁结构电子束焊接的变形控制

Deformation Control of Thin-Walled Structure Welded by Electron Beam

中航工业航空动力控制系统研究所 龚荣清 杨锡龙

[摘要] 基于电子束焊接方法,探讨了功率分出轴柔性薄壁结构真空电子束焊接过程中的变形控制方法,提出了综合应用最小焊接热输入、减小焊接重叠角度和合理焊接装配及散热相结合的变形控制方法,有效地控制了焊接变形,实现了电子束焊接柔性薄壁结构的制造。

关键词: 电子束焊接 TC4 钛合金 变形控制

[ABSTRACT] Based on electron beam welding method, the deformation control method of vacuum electron beam welding process of PTO flexible thin-walled structures is explored. The deformation control method combined with comprehensive application of the minimum weld heat input, reducing the overlap angle, reasonable welding assembly and heat radiation is proposed. The welding deformation is controlled effectively and the manufacturing of PTO flexible thin-walled is achieved by using electron beam welding.

Keywords: Electron beam welding TC4 alloy Deformation control

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.11.116

真空电子束焊接技术以其高功率密度、焊接热输入量小、零件变形小、焊后残余应力小、焊缝深宽比大、焊接接头无氧化、焊缝质量好等特点,广泛应用于航空、航天及原子能等工业领域中。在航空制造业中,电子束焊接技术的应用大大提高了飞机发动机的制造水平^[1]。TC4 钛合金具有优异的综合力学性能,在航空和航天工业中获得了最广泛的应用^[2]。与其他金属相比,TC4 钛合金导热性差、电阻系数大、热容量小,熔焊时应采用能量集中的热源,因此电子束焊无疑成为 TC4 钛合金焊接加工的首选方法之一^[3]。

功率分出轴是发动机的传动件,其结构中的柔性薄壁结构使功率分出轴具有一定柔性补偿能力。柔性薄壁结构本身的变形会大大降低功率分出轴的疲劳强度,因此焊缝除了必须符合 GJB1718A 中 I 级焊缝要求,同时还要求焊接变形尽可能小,图 1 中 δ 为柔性薄壁件的壁厚。本文以某型功率分出轴柔性薄壁结构为研究对

象,探讨控制电子束焊接变形的的方法。

1 试验材料和设备

试验材料为 TC4 钛合金锻件,退火状态供货,母材化学成分见表 1^[4]。采用法国泰克米特(TECHMETA)公司的 LARA52 型 60 kV 中压电子束焊机进行真空电子束焊接,焊前采用硝酸氢氟酸溶液酸洗,焊后采用 WZT-45 型真空热处理炉进行接头去应力退火处理,热处理制度为:(620 ± 10) °C,保温 2h 随炉冷却至 200 °C 以下空冷。

2 试验过程

2.1 工艺参数确定

由于直接在柔性薄壁零件上进行工艺试验费用较高,因此采用与焊缝接口尺寸相同的 TC4 钛合金圆管为研究对象,分别为试件 1: 外径 $\phi 52\text{mm}$,厚度 4.5mm 的圆管和试件 2: 外径 $\phi 121\text{mm}$,厚度 2.2mm,分析工艺参数对焊缝形状、变形等方面的影响,在工艺参数确定后再在实际的工件上进行焊接。

2.2 变形检测

在保证焊缝质量条件下,同时解决 2# 焊缝焊接变

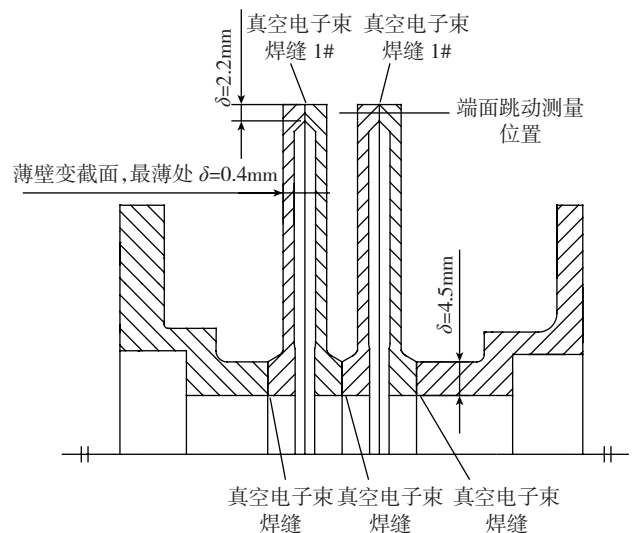


图1 柔性薄壁结构示意图

Fig.1 Diagram of flexible thin-walled structure

形是图1结构焊接的最大难点。采用试件1初步确定焊接工艺参数,再用2#焊缝试焊,焊接变形最小是判断最终焊接工艺参数的标准。

3 变形控制方案

3.1 焊接工艺参数

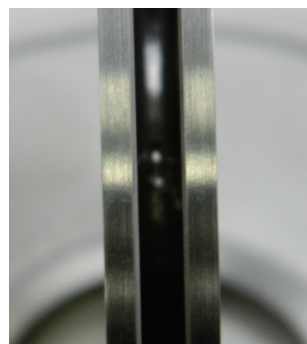
影响焊接变形的工艺参数主要有加速电压、焊接电流、聚焦电流、焊接速度和工作距离等,经过参数摸索初步确定2组焊接参数,见表2。2组参数均采用表面以下的聚焦方式,焊接线能量计算公式为^[5]:

$$J = \frac{0.388UI_b}{v}$$

采用参数1和参数2分别焊接2#焊缝,在相同的工作距离和散热条件下,采用参数2焊接的2#焊缝出现变形过大情况,导致外圆侧面熔化的现象,而参数1未出现该现象,见图2。由图可知,焊接线能量越小,焊接变形也就越小。同时焊接速度 $v=300\text{cm}/\text{min}$ 试验证明,若要保证焊缝质量,焊接速度越慢,焊接所需线能量也就越大。

3.2 焊接重叠角度和收弧角度

在焊接环焊缝时,为了保证焊接接缝处完全焊透和收弧处焊缝成形,一般焊接时会有一定的焊接重叠角度和收弧角度。重叠焊接和收弧焊接使局部热输入大于其他部位,焊缝收缩量也大于其他部位,从而导致焊接



(a) 参数1焊接2#焊缝



(b) 参数2焊接2#焊缝

图2 不同焊接线能量焊接变形示意图

Fig.2 Welding deformation diagrams with different welding heat inputs

表1 TC4钛合金化学成分质量分数

%

合金元素			杂质						
Al	V	Ti	Fe	C	N	H	O	其他元素	
								单一	总和
5.5~6.8	3.5~4.5	余量	≤ 0.3	≤ 0.1	≤ 0.05	≤ 0.15	≤ 0.2	≤ 0.1	≤ 0.4

表2 焊接工艺参数

焊接参数组别	电压 U/kV	聚焦电流 I_f/mA	焊接束流 I_b/mA	焊接速度 $v/(\text{cm} \cdot \text{min}^{-1})$	线能量 $J/(\text{kJ} \cdot \text{cm}^{-1})$
1	50	1910	80	500	3.104
2	60	2120	60	300	4.656

变形过大,见图3。通过采用多次试验,最终确定重叠角度为 8° ,收弧角度为 45° 为最合理角度,试验数据见表3。

3.3 焊接装配和散热

焊接装配时,每道焊缝分开装配焊接,可以对前后焊接之间进行及时调整。将上一道焊接变形造成的高、低点,在自由状态下相互配合,使零组件在焊接前跳动最小,这样可控制焊接变形的叠加。

TC4钛合金导热性差,焊接时的热量传导容易导致薄壁变截面产生塑性变形。采用热容量大的紫铜作散热工装,可保证散热效果,控制变形。同时工装型面与

薄壁变截面型面紧密贴合,可增大散热面积,提高散热效率,控制焊接变形。焊接散热示意图如图4所示。

4 结论

(1)综合应用最小焊接热输入、减小焊接重叠角度和合理焊接装配及散热相结合的变形控制方法,使电子束焊接功率分出轴柔性薄壁结构变形控制在 0.3mm 以内。

(2)电子束焊接方法结合适当的变形控制方法能满足功率分出轴柔性薄壁结构设计要求。

(3)减小焊接热输入,特别是提高焊接速度,可以有

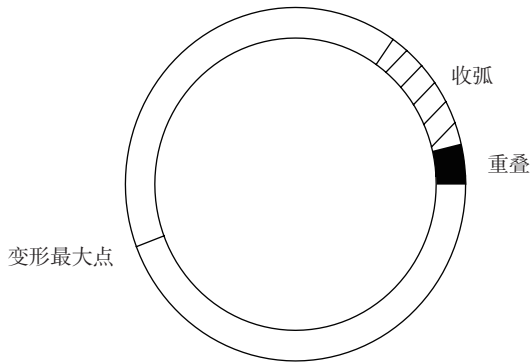


图3 焊接重叠和收弧导致焊接变形

Fig.3 Welding deformation due to overlap angle and crater angle

表3 焊接工艺参数

参数方案	重叠角度 / (°)	收弧角度 / (°)	端面跳动 / mm	备注
1	12	90	0.32	
2	8	90	0.27	
3	8	45	0.22	
4	8	25	0.22	收弧处有圆点状凹坑

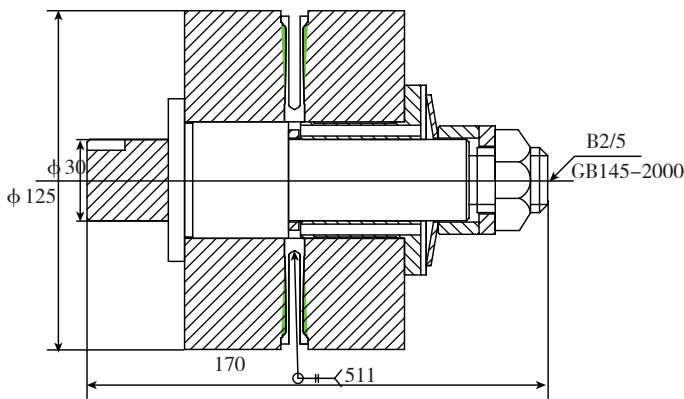


图4 焊接散热工装示意图 (mm)

Fig.4 Heat dissipation fixture of welding diagram (mm)

效地控制焊接变形,使焊接时超过 1mm 的变形降低到 0.3mm 以内。

参考文献

[1] 《工程材料实用手册》编辑委员会. 工程材料实用手册第 4 卷钛合金·铜合金(第 2 版). 北京: 中国标准出版社, 2001.
 [2] 康文军, 梁养民. 电子束焊接在航空发动机制造中的应用. 机械制造文摘(焊接分册), 2008(6):72-75.
 [3] 宫平, 毛智勇. TC4 钛合金电子束焊接工艺参数对焊缝形状的影响. 航空制造技术, 2008(6):72-75.
 [4] 《中国航空材料手册》编辑委员会. 中国航空材料手册第 4 卷钛合金(第 2 版). 北京: 中国标准出版社, 2002:104-131.
 [5] 王之康, 高永华. 真空电子束焊接设备及工艺. 北京: 原子能出版社, 1990.

(责编 亿霖)

(上接第 108 页)

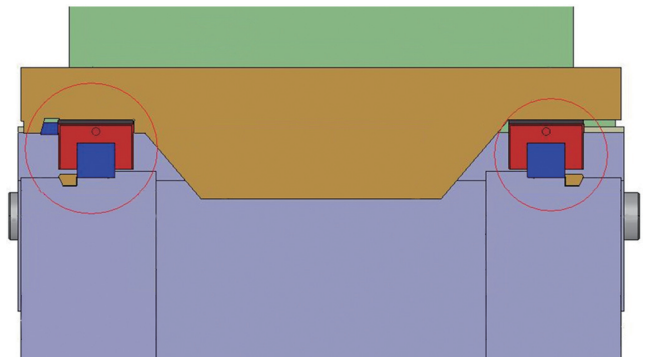


图13 顶锻滑台的导轨定位设计

Fig.13 Guide rail position design of forging slid platform

动载荷为 289kN,前端 4 个滑块的理论承载力为以前 2 个滑块承载力的 4.3 倍,显著提高了滑台承载能力。

4 结论

- (1) 设备床身靠近振动源的 A 点和远离振动源的 B 点空振阶段振幅基本相同; 焊接阶段 A、B 点的振幅均有所增长,且 B 点振幅增长稍大。说明床身和地基的刚性连接结构具有较好的可靠性。
- (2) 顶锻夹具前端是刚性薄弱环节,当前试验条件下,其振幅达到床身 A 点振幅的 3.6 倍。
- (3) 为现有设备的改造或未来新设备的开发设计提供了可显著提高顶锻滑台前端承载力的结构方案。

参考文献

[1] 张田仓, 韦依, 周梦慰, 等. 线性摩擦焊在整体叶盘制造中的应用. 航空制造技术, 2004(11):56-58.
 [2] 徐灏. 机械设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1992.

(责编 叶枫)

(上接第 111 页)

接技术, 2003(6):21-23.

[2] 吴昌忠, 陈静, 陈怀宁, 等. 钛合金高温钎焊接头的组织性能及影响因素评价. 宇航材料工艺, 2005(3):17-20.
 [3] Woodward J R. Titanium honeycomb sandwich fabrication process//Proceedings of Fifth National SAMPLE Technical Conference. New York, 1973: 432-437.
 [4] Huang X, Richards N L. Activated diffusion brazing technology for manufacture of titanium honeycomb structures—a statistical study. Welding Research, 2004(3): 73-81.
 [5] 静永娟, 李晓红, 岳喜山. TC1 钛合金蜂窝夹层结构的钎焊工艺研究与分析. 航空制造技术, 2012(13): 137-139.
 [6] 岳喜山, 欧阳小龙, 侯金保, 等. 钛合金蜂窝夹层结构钎焊工艺. 航空制造技术, 2009(10): 96-98.
 [7] 陈逸, 李金山, 孙峰, 等. 冷轧 TA18 管材变形过程中微观组织及织构. 塑性工程学报, 2012, 19(1): 35-39.

(责编 一帆)