

某发动机压气机盘组电子束焊工艺及变形控制

张有瑞 王晓伟 杨晓军

(北京动力机械研究所, 北京 100074)



摘要: 针对某发动机压气机盘组的焊接变形问题, 通过工艺试验, 提出了装配间隙控制、夹具刚性固定、焊接工艺优化、电子束局部校形等变形控制措施, 实现了一批次压气机盘组的焊接。检测结果表明, 焊缝质量及焊后尺寸均满足设计要求。

关键词: 电子束焊; 多级压气机盘组; 焊接控制; 变形控制

The Electron Beam Welding Technology and Deformation Control of Aeroengine Compressor Disk Group

Zhang Yourui Wang Xiaowei Yang Xiaojun

(Beijing Power Machinery Institute, Beijing 100074)

Abstract: A series of deformation control measures, such as assembly clearance control, rigid fastening, welding process optimization and local adjustment by electron beam, were developed through welding process experiments. The joint of turbine compressor disks was achieved. Test results showed that welding quality and workpiece dimensions meet design requirements. The welding deformation control measures mentioned in this paper give a reference for welding relative cylinder or shaft parts.

Key words: electron beam welding; multistage compressor disk; welding control; deformation control

1 引言

某发动机压气机盘组材料为 TC11, 由多级压气机盘经电子束焊接组合而成, 接头形式为锁底对接, 要求非穿透焊。焊接质量要求满足 GJB1718A—2005 I 级焊缝要求, 同时要求焊后各级盘径向及端面跳动均不大于 0.06mm。

TC11 材料的锁底非穿透焊接结构中, 存在的主要缺陷是焊缝中的气孔, 在局部甚至会产生密集的链状气孔。该缺陷严重影响了零件的正常交付使用, 甚至造成产品报废。另外, 由于盘组状态无法加工内腔, 内腔尺寸在零件状态需加工到位, 焊后还需保证零件内腔尺寸满足设计图纸的要求。为了保证盘组状态动平衡要求, 设计要求焊后各级盘径向及端面跳动均不大于 0.06mm, 因此焊后保证整体跳动要求是电子束焊接面临的又一难题。

2 试验材料及设备

试验材料为 TC11 钛合金, TC11 材料是一种综合性能良好的 $\alpha+\beta$ 热强钛合金, 在 500℃ 以下有良好的热强性能, 并且具有较高的室温强度和良好的热加工工艺性 (包括常规工艺性能和超塑性), 可以进行焊接和各种机加工, 在航空航天领域得到了广泛的应用。

焊接工艺试验采用中压型电子束焊试验设备: 最大加速电压 60kV, 最大输出电流 100mA, 电子束流有效聚焦范围 50~500mm。

3 电子束焊接工艺参数的确定

由于直接采用压气机盘进行工艺试验费用较高, 因此焊接工艺试验采用 $\delta 5.0\text{mm}+\delta 6.5\text{mm}$ 锁底对接接

头的 TC11 钛板为研究对象, 分析焊接工艺参数对焊接质量、焊接变形等方面的影响, 在焊接工艺参数确定后再在实际产品上进行焊接。

电子束焊接工艺参数主要包括加速电压、焊接电流、聚焦电流、焊接速度以及扫描特征等。在多级压气机盘组的锁底非穿透焊接结构中, 气孔是主要焊接缺陷, 气孔缺陷主要分为单个大直径气孔和密集性链状气孔两类。通过控制焊前清理质量、优化焊接工艺规范并选择合适的扫描特征可以很好地改善气孔缺陷, 试验后确定的 TC11 试板焊接参数见表 1。

表 1 TC11 试板电子束焊接参数表

加速电压/kV	焊接电流/mA	聚焦电流/mA	焊接速度/mm min ⁻¹	扫描特征		
				频率/Hz	波形	振幅
60	24	下聚焦 20	900	500	圆形	0.5

从焊接试片金相图中可以看出焊缝组织为 $\alpha+\beta$, 组织形态为柱状晶+等轴晶, 晶粒度与基体接近, 热影响区较窄, 且未发现晶粒长大现象, 组织形态和特征较为理想。

4 电子束焊接变形控制及校形方案

压气机盘电子束焊接变形控制措施主要考虑如下因素。对于焊后跳动超差的零件可以采取焊后电子束局部焊接的方式消除焊后残余变形。

4.1 零件机加质量及装配间隙控制

采用较严格的装配间隙和控制零件自身形位公差, 可以很好地控制焊后径向和端面跳动, 据此对零件加工提出了焊前工艺状态: 严格控制各级盘相关部位同轴度不大于 $\Phi 0.01\text{mm}$, 垂直度不大于 0.01mm , 控制各级盘之间配合间隙在 $-0.01\sim+0.015\text{mm}$ 之间, 采用热装的方式装配。

4.2 工装夹具刚性固定

环形焊缝横向收缩量在厚度方向的不均匀性, 造成零件产生角变形的趋势, 通过工装夹具刚性固定可以减小角变形, 从而控制焊后径向跳动。根据零件结构特点, 设计了专用夹具: 以零件内孔定位, 采用刚性盘固定前级盘和末级盘外圆, 同时需要严格控制工装与零件之间的同轴度和垂直度。

4.3 焊接线能量控制

焊接线能量大小很大程度上决定了轴向收缩量大小, 从而进一步影响了焊后零件端面跳动大小。通

过减小焊接线能量获得上下近似平行的“1”字型焊缝, 可以有效地减少焊接变形。在电子束焊接工艺参数确定试验中, 在确保焊接质量的基础上, 结合理论计算和试验检测, 严格控制焊缝容貌, 选择最优的焊接线能量输入。

4.4 焊接方案制定

根据零件结构特点和变形规律, 制定焊接方案如下: 以居中的相邻级盘之间的焊缝为第一条焊接焊缝, 然后向两边级盘对称焊接, 同时保证各条焊缝起弧位置之间角向相差 72° 。采取上述焊接方案后, 基本保证焊接顺序和焊接起弧位置均布, 一方面保证了焊后残余应力均布, 另一面很好地弥补了环形焊缝起收弧位置轴向收缩量不均匀的不足, 可以更好地保证焊后跳动。

4.5 电子束局部校形方案

焊后采用偏摆仪检测压气机盘整体径向和端面跳动量(试制过程中采用三坐标检测各级盘同轴度和垂直度), 压气机盘组件径向和端面跳动均不大于 0.06mm 。但是部分零件因装配质量不满足要求, 导致焊后跳动量超差, 需采用电子束对产品局部焊缝进行二次焊接的方法校正焊接残余变形。校形过程中通过控制局部焊接位置、局部电子束焊工艺参数、局部焊接区域大小等, 可以很好地实施焊接校形, 校形次数一般不大于 2 次。

4.6 焊后热处理方案

焊后带着电子束焊接工装入炉进行整体消除热应力处理, 通入 99.995% 氩气风冷至室温。

5 结束语

- a. 优化电子束焊接工艺参数, 可以很好地改善压气机盘电子束焊接中的气孔缺陷, 保证焊接质量;
- b. 采取一系列工艺措施可以保证焊后内腔尺寸, 并保证焊后径向和端面跳动不大于 0.06mm ;
- c. 对于部分因装配质量不满足要求而导致焊后跳动不满足要求的零件, 通过电子束局部焊接的方法可以校正焊接残余变形, 但校形次数一般不能大于 2 次。

参考文献

1 康文军. TC11 材料的电子束焊接[D]. 西安: 西北工业大学, 2005, 12
2 曲伸. 电子束焊接 TC4 整体叶盘结构的变形控制[J]. 航空制造技术, 2009, 23

