

某型发动机扇形板片蜂窝真空钎焊工艺改进

Improvement of Fanshaped Board Honeycomb Vacuum Brazing Process of a Certain Aeroengine

中国人民解放军驻四三〇厂军事代表室 朱石刚 张贵斌 严谨

[摘要] 针对某型发动机扇形板片蜂窝在真空钎焊后出现的尺寸超差及变形问题,通过改进定位工装、定位方式、钎焊夹具及焊前板片表面处理等措施,优化了真空钎焊工艺,达到控制零件焊接变形的目的,满足了零件的装配要求。

关键词: 蜂窝 真空钎焊 储能点焊

[ABSTRACT] In order to solve the dimensional deviation and transformation of fanshaped board honeycomb after vacuum brazing, this study optimizes the vacuum brazing process by improving limited fixture, clamping way, brazing tooling and part surface treatment, which successfully controls the parts transformation and meets the requirement of part assembly.

Keywords: Honeycomb Vacuum Brazing Discharge spot welding

在高速旋转的流体机械中(如涡喷发动机、涡扇发动机和燃气轮机等),为了提高效率,减少泄漏,维持各个腔室的工作压力,通常需要采用各种封严措施,如篦齿密封和蜂窝密封是非接触式动态密封中应用最广泛的两种。随着流体机械向着高参数、大容量方向的发展,要求转子件密封间隙越来越小,而篦齿密封转子的流体激振问题也越来越突出。蜂窝密封不仅封严特性好,还有优良的动力学特性。随着蜂窝芯格的加工和焊接工艺的不断改进,采用蜂窝密封技术的成本正不断降低,蜂窝密封在高效、大功率流体机械中得到越来越广泛的应用^[1]。

本文针对的是某型发动机扇形板片蜂窝试制初期焊接中出现的尺寸超差及变形问题,为满足零件装配要求,控制焊接过程中的零件变形,需制定合理的焊接工艺以进行零件的真空钎焊工艺改进研究。

1 工艺难点分析

某型发动机的蜂窝密封片为薄壁扇形板片结构,板片厚度为 0.8mm 的 1Cr18Ni9Ti 不锈钢板与 0.05mm 厚的 GH3030 蜂窝真空钎焊而成。由于板片壁过薄,高温下刚性不足,而且零件在真空钎焊时由于受到钎料的润湿铺展作用力,在焊接后板片极易在外圆轴向方向产生

翘曲变形(见图 1);另外,钎料量难以控制,易造成焊后钎角尺寸过大或板片壁厚增大;此外,不锈钢板片与高温合金蜂窝壁厚差异大,定位用的储能点焊参数选取困难,容易造成蜂窝定位尺寸超差等问题,从而影响组件的后续装配。

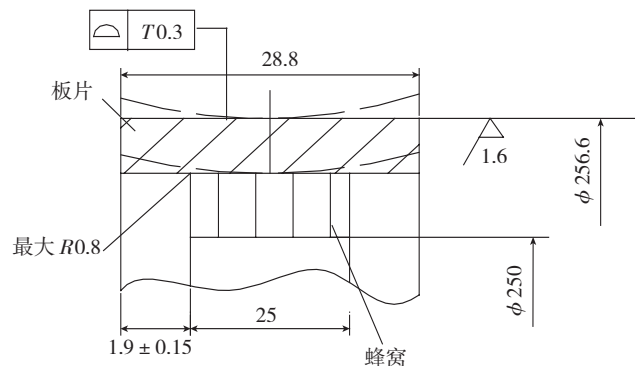


图1 板片蜂窝结构

Fig.1 Structure of fanshaped board honeycomb

1.1 焊接变形控制要求高

目前航空发动机常用的蜂窝密封结构为单层或多层蜂窝环形结构或环形结构焊接后续切割的扇形结构,并且基体为锻件机械加工而成,零件在焊前不会存在过大的内应力,只要焊接过程控制得当,焊后变形一般不超过 0.3mm。该零件设计图要求的外圆轮廓度为 0.3mm,由于零件板片材料是厚度仅为 0.8mm 的 1Cr18Ni9Ti 不锈钢板,在真空钎焊蜂窝时极易在外圆轴向方向产生翘曲变形,焊接后零件的质量很难达到设计图纸的要求。

1.2 装配尺寸精度要求高

设计图要求焊后蜂窝板片边缘的尺寸公差为 $\pm 0.15\text{mm}$ 。蜂窝是由厚度为 0.05mm 的高温合金片成形为正六边形再焊接而成,为弹性结构且宽度公差较大,焊接后保证零件边缘的安装尺寸公差难度大。

为了保证该零件的后续装配,要求焊后钎角尺寸最大不得超过 R0.8mm。在保证零件焊接质量的基础上,必须使该钎角尺寸尽量做到最小,焊接要求较高。

2 真空钎焊工艺改进

2.1 定位工装的改进

前期加工方法为:首先在板片上按尺寸划线,用手

将蜂窝压到板片上,使用枪式电极将蜂窝储能点焊定位到板片上。由于板片为已经冲压成型的扇形弧面,改进前没有相应的划线工装,致使划线过程本身就存在误差;而且蜂窝结构由厚度为 0.05mm 的薄片围成的芯格拼接而成,制成的条带宽度尺寸公差较大,若蜂窝据板片一边的尺寸严格保证了,则会造成蜂窝据板片另一边尺寸超差;另外,若最外层蜂窝薄片定位不牢固或操作存在误差,极有可能造成焊后蜂窝边缘据板片的定位尺寸超差,使后续零件装配困难。

为保证定位尺寸,制造了如图 2 所示的定位工装。工装的下底板为紫铜材料,最大程度减少了储能点焊时的有害电阻,而上压板上的绝缘尼龙块则可以防止储能点焊时击伤蜂窝侧壁。定位时,先将板片插入下底板的宽槽内,再将蜂窝放到板片上方,拧紧螺母后,上压板直接将蜂窝两边的尺寸压缩到设计图纸要求的尺寸,储能点焊定位后直接松开螺母,弹簧弹开,退出上压板。试验证明,定位工装的使用既提高了生产效率,也有效保证了定位尺寸要求。

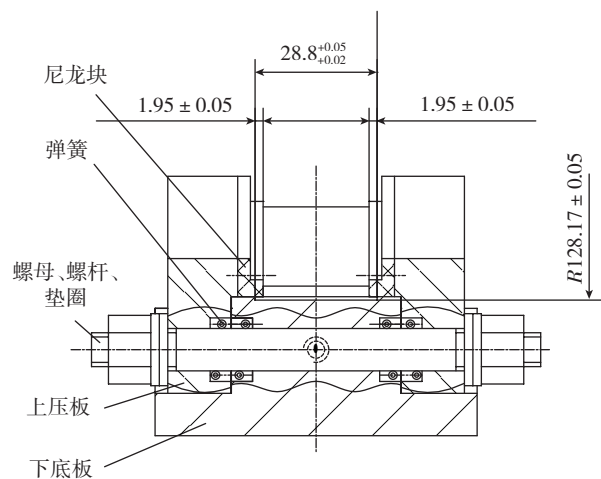


图2 定位工装剖面示意图

Fig.2 Diagram of limited fixture cross-section

2.2 定位方式的改进

改进前采用枪式电极将蜂窝定位到板片上。由于枪式电极与零件接触时是点接触,并且板片与蜂窝是薄壁异种材料的连接,若蜂窝与板片接触不好或点焊参数选择不准确就会击伤蜂窝表面,并且由于蜂窝是与整个板片面接触,使用枪式电极一次只能定位一个接触点,定位后不可能将蜂窝与板片的接触点全部点焊到,在钎焊温度下若某些定位焊点失效,会产生横向移动,使得定位尺寸超差。

在上电极与蜂窝的接触电阻、蜂窝与板片之间的接触电阻、板片与下电极之间的接触电阻 3 个接触电阻中,蜂窝与板片之间的接触电阻为有用电阻,可将电流

转化为焊接热,其余电阻为有害电阻,如板片与下电极之间的接触电阻会产生火花烧伤板片,上电极与蜂窝的接触电阻会严重烧伤蜂窝造成零件报废。当电极压力增大时,各接触电阻减小,电流密度减小,加热也就不强烈。当压力太大时,会使蜂窝变形。压力不但能调节加热强度,更重要的是它决定了塑性变形的范围和强度。因此,压力和脉冲能量是蜂窝储能点焊定位的两个最重要的控制参数^[2]。

利用在软电极橡胶上钻孔的方法可调整电极的硬度。将软电极铜皮软化处理和镀银,并在下电极和零件之间放置铜丝网,以减少有害的接触电阻,保护蜂窝和板片不被烧伤,使用的储能点焊设备见图 3。

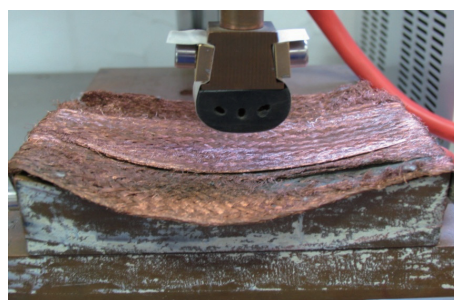


图3 储能点焊机

Fig.3 Discharge spot welding machine

经过分析和试验,选用的储能点焊参数为:电极压力为 8~12kg,脉冲能量为 20%,定位焊时相邻焊点应重叠 20%~30%。经试验证明,选定的定位焊参数可行。

2.3 进炉钎焊工装的改进

改进前只使用了弓形夹在真空钎焊时对零件进行夹持。弓形夹只能在一定程度上保证加热过程中防止储能焊点失效,并不能有效控制焊接后板片在外圆轴向方向产生翘曲变形。若夹持力过大,还有可能压伤蜂窝表面。

为改善夹持效果,制造了如图 4 所示的进炉钎焊夹具。型面块、压板、弓形夹都为强度较好的高温合金材料制成,其中压板避免了弓形夹与蜂窝直接接触,防止工装压伤蜂窝表面,并且进炉时能将零件的型面与工装型面块压紧,有效地防止了焊后零件变形。

2.4 焊前板片型面预处理的改进

改进前,板片冲压成型后直接与蜂窝进行真空钎焊。由于板片冲压成型时存在内应力,在钎焊高温下,板片本身强度不足,再加上钎料熔化后的润湿铺展,造成零件板片焊后在外圆轴向方向产生翘曲变形。

对成型后的板片进行预先处理试验,找出有效的预先处理方法,控制零件焊接变形。试验方案为:(1)增加消除零件应力或稳定化处理工序,消除内应力后进行真

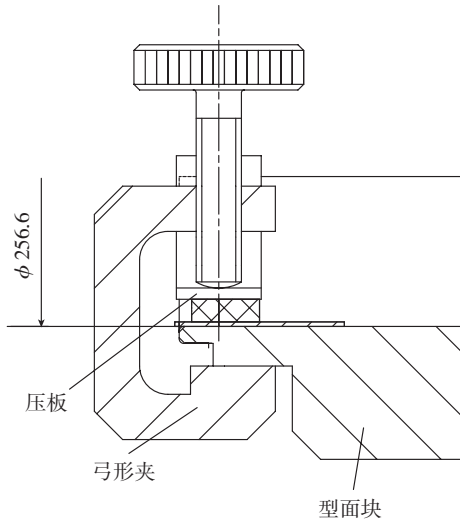


图4 进炉工装剖面示意图

Fig.4 Diagram of vacuum brazing fixture cross-section

空钎焊;(2)对板片表面进行喷丸处理,预先增加反应力,增加板片表面强度后进行真空钎焊。

具体消除零件应力或稳定化处理试验过程为:先将板片及蜂窝单件进行 1080℃ 热处理消除应力或 850℃ 的稳定化处理,再进行真空钎焊的后续工序。具体工序安排如下:热处理-打磨-清洗-装配-检验-放置钎料-真空钎焊-检验-补焊。热处理试验过程见表 1。

表1 热处理试验过程表

零件编号	板片热处理温度 /℃	蜂窝热处理 /℃	进炉方式	焊后变形量 /mm
2-2 #	850	否	使用焊接夹具	0.09~0.15
2-4 #	1080	否	使用焊接夹具	0.27~0.30
1-1 #	850	1080	使用焊接夹具	0.10~0.23
2-12 #	否	1080	使用焊接夹具	0.16~0.24

由表 1 可见,对板片进行稳定化处理的焊后变形效果优于 1080℃ 的消除应力。预先对板片进行 850℃ 的稳定化处理,并且在焊接时使用进炉工装,零件焊后的尺寸变形较小,可以有效控制零件在焊接过程中的焊接变形。

预加反变形应力试验过程为:先将板片外圆表面进行喷丸处理,再进行真空钎焊的后续工序。具体工序安排如下:喷丸-打磨-清洗-装配-检验-放置钎料-真空钎焊-检验-补焊。预加反应力试验过程见表 2。

由表 2 可知,在没有对板片进行稳定化处理,仅是预先对板片进行预加反应力的喷丸处理,并且在焊接时使用进炉工装,零件焊后的尺寸变形较小,也可以有效控制零件在焊接过程中的焊接变形。

表2 预加反应力试验过程表

零件编号	板片是否喷丸	进炉方式	所用钎料量 /g	焊后变形量 /mm
1-11 #	是	使用焊接夹具	6	0.06~0.08
1-12 #	是	使用焊接夹具	6	0.08~0.10
1-10 #	是	未使用焊接夹具	6	0.23~0.24
2-11 #	是	使用焊接夹具	6	0.10~0.12

通过两组试验过程对比可知,对板片进行预加反应力的喷丸处理,控制焊接过程的钎料使用量,并且在焊接过程中使用工装进行装夹进炉的方法更有效。实际生产中已将板片喷丸处理的工序加入了正式生产流程中,经后续生产证明非常有效。

2.5 钎料填加方式改进

改进前的零件在定位后,先在蜂窝芯格内撒粉状钎料,然后在蜂窝外侧涂注一道膏状钎料,钎焊后由于膏状钎料熔化铺展,容易造成较大的钎角尺寸和板厚增加,从而影响零件的后续装配。

通过多次焊接试验,得出最佳钎料使用量。生产中为了控制零件的钎料用量,可直接在蜂窝芯格内撒粉状钎料,并且用量控制在 6g 左右。由于储能点焊工艺的改进保证了零件钎焊间隙,蜂窝芯格内的粉状钎料焊后熔化铺展,在蜂窝边缘形成一条光滑完整的钎缝,其尺寸不超过 R0.2mm,避免了钎角过大的情况及钎料堆积,保证了零件的后续装配要求。

3 实施效果

采用改进后的真空钎焊工艺共生产了 20 多个相似件号的 3000 多件零件,焊接合格率达到 99% 以上,且焊后板片在外圆轴向方向产生的翘曲变形都小于 0.3mm。

4 结论

定位工装及定位方式的改进有效保证了零件的钎焊间隙及装配尺寸要求精度;控制焊接所用的钎料用量及填加方式解决了零件在真空钎焊后的钎料堆积问题;焊前对板片进行喷丸处理及焊接过程中使用进炉工装,解决了零件在真空钎焊过程中的变形问题;钎料填加方式的改进解决了薄壁扇形板片蜂窝的焊接问题。

参考文献

- [1] 王旭. 转子蜂窝密封密封严特性的试验研究. 热能动力工程, 2004,19(5): 521.
- [2] 李培森,任耀文,燕泽明. 真空钎焊. 北京: 国防工业出版社, 1984.

(责编 谷雨)