

扩压器真空钎焊工艺

Vacuum Brazing Process of Diffuser

中国人民解放军驻一二〇厂军事代表室 刘新强
中航工业哈尔滨东安发动机(集团)有限公司 郑欣 李佳 王广海

[摘要] 某型号扩压器由盖板和带有若干叶片的底座组成,由于叶片与盖板连接处的钎焊面为曲面,焊缝间隙很难控制,导致产品因流道高度超差或出现焊缝缺陷而报废。因此,保证叶片处焊缝质量和流道高度尺寸成为该产品的工艺难点。对模拟试件和扩压器产品进行了焊接工艺研究,通过数控加工结合叶型精磨技术加工,保证配合间隙,有效控制装配质量,并配合合理的焊接工艺参数和配重工装,获得了合格的真空钎焊扩压器产品。

关键词: 扩压器 真空钎焊工艺 焊接配重

[ABSTRACT] The diffuser is composed of the cover plate and the base with some vanes. Because the joints between the vane and the cover are curved faces, so it is difficult to control the gaps of welding joints which often leads to the out-of-tolerance in flow passage heights and even to being rejected because of the welding defects. As a result, it is critical to control the joint quality and the flow passage height. In this study, the vacuum brazing processes of the specimens and diffuser product are performed. The brazing gaps and the assembled quality are controlled by numerical control machining with the vane refining process, and then the acceptable diffuser is produced according to the proper vacuum brazing parameters and balance weight.

Keywords: Diffuser Vacuum brazing process Welding balance weight

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.05.092

某型号扩压器由盖板和带若干叶片的底座组成,其材料为锻件 GH4169,其结构示意图如图 1 所示。扩压器的盖板、底座和叶片经真空钎焊后形成气流通道,对气流进行整流、扩压。扩压器底座上数控加工出的若干个叶片是气流的整流叶片,其中流道高度尺寸是影响产品性能的一个重要指标,因此质量必须得到保证^[1-2]。

从图 1 可知,扩压器是回转体焊接件,叶片数量多,

装配精度高。焊前对产品加工质量和装配间隙的控制,焊后对焊缝质量的检验及流道尺寸的测量等问题,都需要进行工艺研究加以分析解决。

1 扩压器真空钎焊的试验材料、方法和技术要求

1.1 试验材料和方法

本研究中的扩压器基体材料为 GH4169,采用粘带状 BNi-2 钎料连接叶片处,在美国 VFS 公司生产的 HJ26EQ 真空钎焊炉中进行真空钎焊。

GH4169 是以体心四方 γ'' 相和面心立方 γ' 相作为沉淀强化析出相的镍基高温合金,在 700℃ 以下温

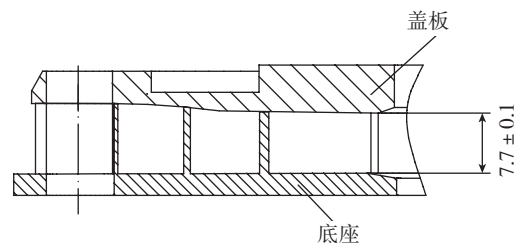


图1 扩压器的结构示意图

Fig.1 Sketch of the diffuser structure

度范围内具有良好的抗疲劳、抗氧化、耐腐蚀性等综合性能。其化学成分如表 1 所示。

BNi-2 镍基钎料具有优良的抗氧化性和耐腐蚀性,并具有较好的钎焊工艺性能,其熔点易与多数高温合金的热处理相匹配,经钎焊热循环不会产生开裂。另外,

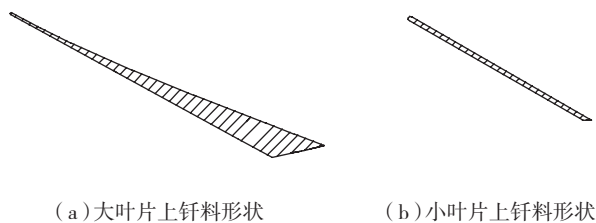
表1 GH4169的化学成分 %

C	Cr	Ni	Co	Mo	Fe	Nb	Ti	Al
≤ 0.08	17.00~21.00	50~55	≤ 1.0	2.80~3.30	余量	4.75~5.50	0.65~1.15	0.20~0.80

表2 BNi-2钎料的化学成分 %

Ni	Cr	Si	B	Fe	C
余量	6.0~8.0	4.0~5.0	2.75~3.50	2.5~3.5	0.06

该钎料的流动性好,可在较低温度下焊接,钎料与母材作用较弱,适用于钎焊较薄的零部件。其化学成分如表2所示。



(a)大叶片上钎料形状 (b)小叶片上钎料形状

图2 大、小叶片上钎料形状

Fig.2 Brazing filler shape on the large and small vanes

在进行真空钎焊时,将钎料用剪刀剪成大、小叶形横截面形状,如图2所示。由于粘带钎料的正反面都具有粘性,可依次粘在叶片的焊接面上,并在非焊接部位涂焊接阻流剂,然后将盖板盖在钎料上。

1.2 扩压器真空钎焊的技术要求

(1)焊缝符合 Q/1BnYJ66 II级要求,钎料采用粘带状 BNi-2。钎焊后叶片根部焊缝的过渡圆角 $R \leq 1^\circ$,内流道及叶片表面不允许钎料飞溅和漫流。

(2)焊后采用超声波检验焊缝的钎透率,要求达到90%以上。

(3)钎焊后保证流道高度尺寸为 (7.7 ± 0.1) mm。

2 扩压器试件的焊接试验过程

将扩压器结构进行简化,采用 GH4169 板料加工出4组叶片及1个盖板,并配合适当配重进行试验研究。

2.1 试件钎焊参数的确定及焊接结果

真空钎焊工艺参数包括真空度、升温速率、钎焊温度、钎焊保温时间和冷却速率等。钎焊温度的选择主要依据钎料(BNi-2)熔点和母材(GH4169)热处理而确定。BNi-2钎料的熔点为 $970 \sim 1000^\circ\text{C}$,钎焊温度为 $1010 \sim 1175^\circ\text{C}$;母材 GH4169 为镍基高温合金,其熔点为 $1260 \sim 1320^\circ\text{C}$,焊后热处理为 $960^\circ\text{C}/1\text{h}$ 淬火, $720^\circ\text{C}/8\text{h}$ 回火^[3]。经综合考虑,将真空钎焊温度选为 $(1080 \pm 20)^\circ\text{C}$,保温时间应根据扩压器和配重的质量、钎料填满深度及合金化作用

时间综合而定。按照工艺试验的经验结果,将保温时间定为30min比较合适,这样既能保证钎料在毛细作用下填满间隙,又能保证扩压器组件与母材有足够的合金化作用时间^[4]。根据钎料的特点及零件结构与材料的要求,参照相关

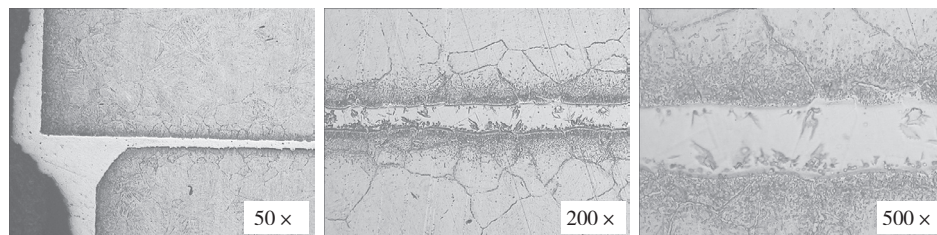


图6 叶片端部的焊缝金相照片

Fig.6 Metallographic photos of the end of vane

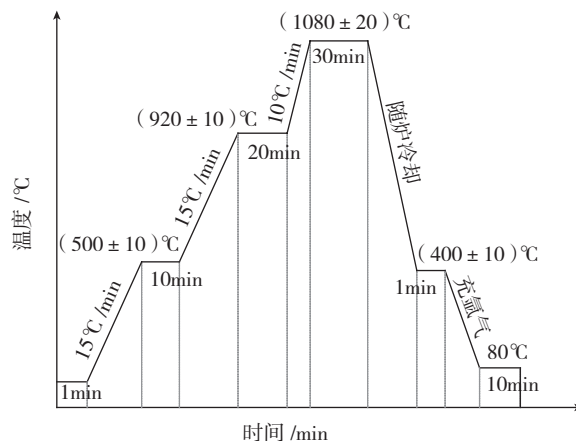


图3 扩压器真空钎焊温度制度曲线

Fig.3 Vacuum brazing temperature schedule of the diffuser

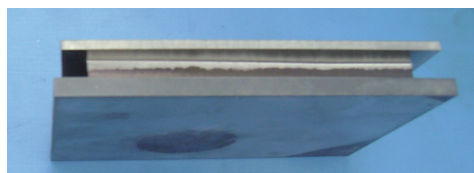


图4 试件焊后的外观

Fig.4 Specimen appearance after brazing



图5 扩压器试件的超声波检测图

Fig.5 Ultrasonic inspection photo of the diffuser specimen

标准,选用图3所示温度处理。

将试件超声波清洗和手工清理后,按大、小叶片的形状裁剪钎料进行装配。焊后的试件外观如图4所示。

2.2 超声波检测结果

对焊后的扩压器试件采用 LS-200LP 型探伤设备超声波检测,方法为纵波水浸 C 扫描,采用频率为

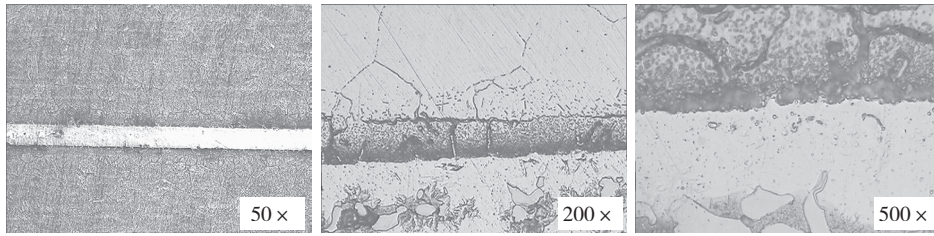


图7 叶片中部的焊缝金相照片
Fig.7 Metallographic photos of the middle of vane

15MHz,灵敏度为 35dB。检测结果显示,试件的真空钎焊钎透率为 90% 以上。图 5 为超声波检测结果图像。

2.3 金相检查结果

将焊接后试件进行分段解剖,分别在叶片的端部和中间部位进行金相观察,如图 6 和图 7 所示。结果表明:叶片焊接部位的整体焊接质量良好,焊缝圆角适中;钎料与母材的过渡期组织清晰,金相组织无异常长大现象,说明钎料和母材的冶金反应适当,该钎焊工艺参数比较合理。

3 扩压器的真空钎焊研究过程

3.1 扩压器真空钎焊前的装配质量控制

3.1.1 零件的质量控制

真空钎焊时,熔化的钎料依靠润湿和毛细作用吸入间隙内,并与固态母材相互扩散形成冶金结合,因此钎焊间隙不能过大或过小,否则会失去毛细作用的能力。影响钎焊间隙的因素是本体叶片与盖板配合尺寸的误差。由于零件之间配合表面为曲面,为了满足间隙要求,扩压器的盖板和底座型面都采用数控加工,严格控制尺寸。底座的叶型面先粗加工,然后消除应力,达到稳定尺寸和精度后再对叶型面进行精磨。要求叶片应全部磨削保证配合尺寸,不合格的叶片则允许反复磨削叶片两侧。同时对扩压器的本体和盖板进行试装、选配,选择配合间隙较好的零件进行装配,保证装配精度。本研究中叶片与盖板接触焊缝处的装配间隙不大于 0.10mm。

3.1.2 钎料的装配

扩压器产品钎焊时,BNi-2 钎料的装配如 1.1 节所述,与试件焊接的装配方法一致。

3.1.3 零件的配重控制

该扩压器在真空钎焊之前,应选择合适重量的配重物,利用重力作用压在盖板上再进行焊接。配重物的材料一般为不锈钢。本研究中,配重物分内配重环和外配重环,分别放置在扩压器的盖板上,并与扩压器的外形一致,为环形。具体装配示意图如图 8 所示。

扩压器在钎焊热循环过程中的径向方向不受任何

约束限制,只是在垂直方向的轴向利用内、外配重环的重量对流道高度等尺寸进行控制。根据试件焊接时的配重参数,扩压器焊接时外配重环为 10.50kg,内配重环为 8.50kg。

3.2 扩压器产品的真空钎焊试验过程

第 2 节对扩压器试件的真空钎焊研究中采用了图 3 中的焊接工艺参数,超声波检测和金相组织观察证明该焊接参数切实可行,焊接质量符合技术条件要求,因此针对实际的扩压器产品,同样采用图 3 中焊接工艺参数进行焊接试验。

3.3 扩压器的焊后检验

3.3.1 叶片处钎焊缝的焊接质量检验

由于受扩压器结构的限制,叶片的焊缝处不能采用 X 光检查,因而采用外观目视检查和超声波检查来判断叶片处钎焊焊缝的质量。

(1) 目视检验采用 5~10 倍放大镜,用内窥镜检查叶片处钎缝的外观。该扩压器的钎缝连续、致密,钎角

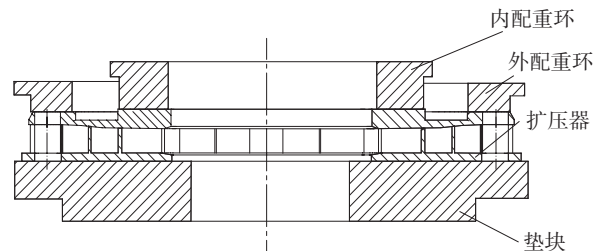
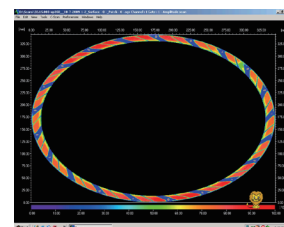
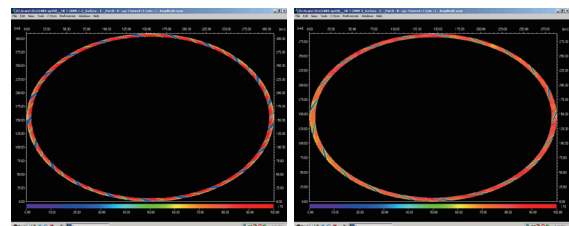


图8 扩压器真空钎焊示意图
Fig.8 Vacuum brazing sketch of the diffuser



(a)



(b)

(c)

图9 超声波检测结果

Fig.9 Results of ultrasonic inspection

光滑均匀,钎料无漫流和飞溅。

(2) 超声波探伤检验: 采用 LS-200LP 超声检验设备对盖板与叶片连接的钎缝处进行纵波水浸 C 扫描, 超声波频率为 15MHz, 灵敏度为 35dB。利用超声无损检测 C 扫描图像可以反映出钎焊缺陷及其分布特征, 检测结果如图 9 所示。可以看出扩压器的焊缝质量良好, 钎透率同样达到 90% 以上。

3.3.2 扩压器流道高度的检测

表 3 中记录了该扩压器真空钎焊前后测得的流道高度数值。焊后的流道高度与焊前相比有减小的趋势, 说明焊前的叶片和盖板接触面有局部高点支撑, 焊后在配重和钎焊温度作用下整体进行了调整; 焊前和焊后的流道高度均满足 (7.7 ± 0.1) mm 技术条件的要求。这也证明配重环重量和钎焊温度的合理性。

3.4 钎焊缝的补焊

由于有 3 片叶片未焊上, 在需要补焊的部位注射相同成分的膏状钎料(BNi-2), 然后重新入炉按照相同的配重和钎焊工艺参数进行钎焊。允许补焊次数为 1 次。

表3 钎焊前后气体流道的高度

序号	焊前流道高度/mm	焊后流道高度/mm
1	7.70	7.66
2	7.71	7.67
3	7.72	7.68
4	7.70	7.69
5	7.70	7.69
6	7.71	7.69
7	7.70	7.68
8	7.69	7.68
9	7.69	7.68
10	7.69	7.69
11	7.69	7.70
12	7.69	7.70
13	7.69	7.69
14	7.69	7.68
15	7.69	7.66
16	7.69	7.66
17	7.66	7.65
18	7.63	7.64
19	7.63	7.64
20	7.63	7.65
21	7.63	7.65

4 结论

(1) 某型号扩压器采用 BNi-2 钎料在 (1080 ± 20) °C 的温度下进行真空钎焊。焊后的钎角合格, 钎缝致密均匀。

(2) 真空钎焊过程中的配重重量直接影响扩压器焊后流道高度尺寸。该扩压器采用外配重环为 10.50kg, 内配重环为 8.50kg, 比较合理。

(3) 焊后产品的超声无损检测是判断扩压器焊缝钎透率比较合理可靠的无损检测方法。该扩压器采用上述真空钎焊工艺后, 钎透率达到 90% 以上, 而且流道高度也满足设计要求, 证明该焊接工艺合理可行。

参考文献

- [1] 赵越. 钎焊技术及应用. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] 刘秀芬, 蒲一民, 首鸿燕. 扩压器钎焊工艺. 航天制造技术, 2007(2): 24-26.
- [3] 张启运, 庄鸿寿. 钎焊手册. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [4] 刘师田, 杨凯珍. 保温时间和钎焊温度对真空钎焊 304 不锈钢接头性能的影响. 金属铸锻焊技术, 2011(3): 172-174.

(责编 谷雨)

(上接第 91 页)

表3 齿轮槽100° 沉头螺栓建议安装力矩

螺栓规格	夹层类型	建议安装力矩范围 / (N·m)
M10	铝合金 + 铝合金	30 ~ 35
	钛合金 + 钛合金	30 ~ 35
	复材 + 铝合金	35 ~ 40
	复材 + 钛合金	35 ~ 40
M12	铝合金 + 铝合金	40 ~ 45
	钛合金 + 钛合金	40 ~ 45
	复材 + 铝合金	45 ~ 50
	复材 + 钛合金	45 ~ 50

为了满足现代飞机制造技术不断发展的需求, 代表了飞机制造先进水平的波音、空客等国外公司从未间断过对新型标准件的研究和应用, 从某种程度上说, 新型标准件的发展也代表了飞机装配连接技术的进步。因此, 国内航空企业及科研单位, 针对飞机产品自身的特点, 开展新型标准件的设计及应用相关研究, 具有非常重要的意义。

本文通过开展齿轮槽头型新型标准件安装工艺与试验研究, 一方面确定了该型标准件安装力矩等关键工艺参数及对复合材料的适用性, 为其装机和使用提供理论依据及数据支持; 另一方面, 也对开展新型标准件安装工艺与试验的研究方法进行了有益的探索, 对逐步形成一套完善的试验方法及规范具有很好的指导作用。

(责编 叶枫)