

不锈钢真空钎焊扩压器的缺陷检查与控制技术

Defect Inspection and Control Technology of Vacuum Brazing Stainless Stress Diffuser

中航工业哈尔滨东安发动机(集团)有限公司 郑 医 王广海 宋 健 刘玉萍

[摘要] 采用钎料 BNi94SiB980-1065,选择合适的焊接参数,对 1Cr12Ni3Mo2V 扩压器进行真空钎焊。借助金相显微镜,超声波检测仪,分析了接头的显微组织及接头的钎透率;利用拉伸试验机对接头进行强度测试。结果表明,在焊接规范为 1180℃/30min 的条件下,获得良好的钎焊接头。通过焊前清理、钎焊工艺、钎焊工装,对不锈钢扩压器钎焊接头进行钎焊工艺及质量控制,有效避免钎焊接头缺陷的产生。

关键词: 扩压器 真空钎焊 显微组织 拉伸强度 过程控制

[ABSTRACT] The diffuser of 1Cr12Ni3Mo2V is vacuum brazed by using filler metal BNi94SiB980-1065, and selecting appropriate brazing parameters. Microstructure and penetrate ratio of brazed joints are analyzed with metallic microscope, ultrasonic analysis instrument, and strength of brazed joint is conducted through tensile test machine. The results show good brazed joint is obtained at 1180℃/30min. Brazing process and quality of brazed joint of stainless stress diffuser are controlled, including cleaning before brazing, brazing procedure and brazing tooling etc, which avoid producing defects of brazed joint in effect.

Keywords: Diffuser Vacuum brazing Micro-structure Tensile strength Procedure control

在飞机发动机的制造过程中,压气机系统的扩压器大多需要进行连接^[1]。钎焊,以连接薄壁件、超薄壁件、异种材料等独特的优点,成为航空发动机制造中一种不可替代的重要连接技术。许多重量轻、性能好、结构灵巧的关键部件都是通过钎焊连接的^[2]。

钎焊接头的钎透率与钎缝强度是衡量发动机扩压器零件接头钎焊质量的重要指标之一。涡轴某发动机中要求焊接区域的钎透率不小于 80%,拉伸性能大于

530MPa,而钎焊工艺中的最主要参数——真空钎焊温度对接头的钎透率有直接的影响。

1 试验内容

本文采用 BNi94SiB980-1065 钎料对 1Cr12Ni3Mo2V 材料的扩压器进行真空钎焊,而扩压器是由盖板和叶片盘组成。通过对真空钎焊接头的力学性能、金相组织和钎透率进行分析,研究了真空钎焊温度对钎焊接头钎透率的影响,探索满足发动机扩压器真空钎焊质量的工艺参数及缺陷的控制,从而可以降低发动机的制造成本,缩短制造时间,提高发动机零部件的可靠性和飞机的安全性。

2 试验材料及方法

试验的基体材料为马氏体不锈钢 1Cr12Ni3Mo2V (相当于法国 Z12CNDV12),其化学成分如表 1 所示,力学性能如表 2 所示。

试验所用钎料为涡轴某发动机指定的钎料,牌号为 BNi94SiB980-1065 (W%),规范为 AMS4779 镍基钎料,其主要化学成分见表 3,形状为带状和膏状,叶片盘的榫头与盖板的位置用膏状钎料,盖板与叶片盘的叶片用带状钎料连接。盖板和叶片盘的钎料放置位置如图 1

表1 1Cr12Ni3Mo2V的化学成分(质量分数) %

成分	Ni	Cr	Si	Mn	Mo	V	C
重量	2.0~3.0	11.0~12.5	≤ 0.35	0.50~0.90	1.5~2	0.25~0.4	0.08~0.13

表2 1Cr12Ni3Mo2V的力学性能

拉伸强度 σ_b /MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa	延伸率 δ_5 /%	冲击韧性	
			K_{α} /(kJ·m ⁻²)	A/kJ
1000~1150	≥ 800	≥ 10	≥ 1000	≥ 78

表3 钎料BNi94SiB的化学成分(质量分数) %

成分	Ni	Cr	Si	B	Fe	C
重量	余量	-	3.0~4.0	1.5~2.2	1.5	0.06

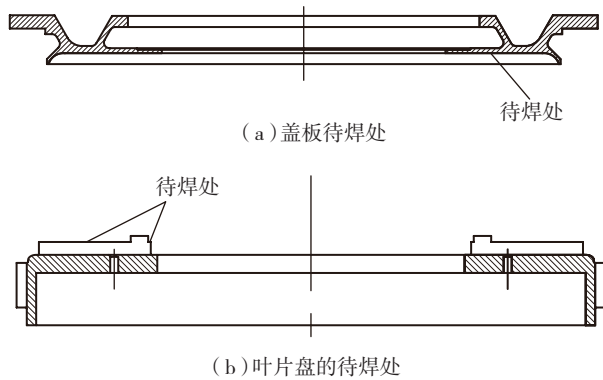


图1 盖板和叶片盘的钎料放置示意图

Fig.1 Brazed areas of cover and blade block

所示。

采用美国 IPSEN 公司制造,型号为 BM2097 的真空钎焊炉进行钎焊,真空钎焊热循环参数为 $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 进行升温至 600°C ,保温 15min,然后以 $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 进行升温至 950°C ,保温 15min,最后以 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度加热至 1180°C 进行真空钎焊,保温 30min;以 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 降温至 $900^{\circ}\text{C}/\text{min}$,保温 10min,再以 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 至 600°C ,保温 5min,然后充氩气冷却至 80°C 。真空钎料试样时,将力学性能试样同炉进行真空钎焊,力学性能试件的装配如图 2 所示。

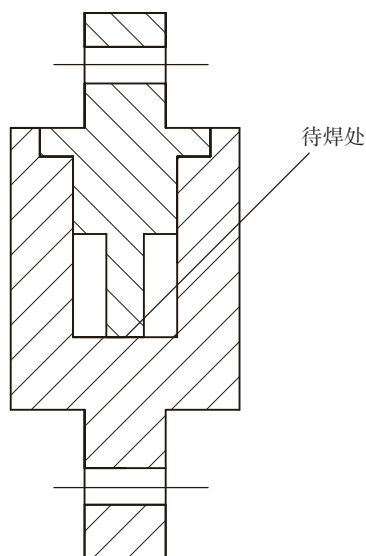


图2 力学性能试件装配示意图

Fig.2 Assembly diagram of performance sample

焊后利用水浸脉冲反射法对真空钎焊接头进行超声波检查,主要考察真空钎焊接头的钎透率。超声波仪器型号:LS-200LP,探头频率:15MHz。超声波检测区域如图 3 所示,左侧检测区域为盖板和叶片盘的连接区

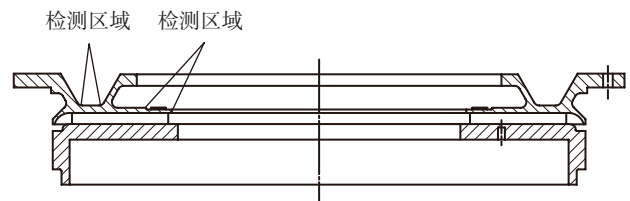


图3 超声波检测区域示意图

Fig.3 Area of ultrasonic inspection

域,定义为 2A 区域;右侧检测区域为盖板和榫头的连接区域,定义为 2B 区域。

截取钎焊试件不同位置接头,磨制金相试样,将制得的试样进行金相检测。利用 GX71 型号的材料显微镜对试样进行微观组织观察,同时将金相试样用溶液 ($\text{Cu}_2\text{Cl}_2:25\text{g/L}$, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:50\%$, $\text{HCl}:50\%$) 进行腐蚀后观察显微组织。

利用国产 CMT5105 设备对性能试件进行拉伸强度测试,考察钎缝的强度。

3 试验结果及分析

3.1 钎焊温度对钎缝质量的影响

当钎焊温度为 1130°C ,钎焊接头的质量较差,钎缝的宽度为 $163\mu\text{m}$,钎料向母材两边的扩散层分别为 $30\mu\text{m}$ 和 $27\mu\text{m}$,钎透率低,钎缝中有较大孔洞。这是因为真空钎焊温度低,钎料未能充分熔化,导致钎料的粘度大,流动性差,液态钎料在有限的时间内不能充分地填满全部焊缝,钎透率低并形成缺陷。根据涡轴某发动机的要求,钎焊接头的宽度应在 $10\mu\text{m}$ 与 $100\mu\text{m}$ 之间。当钎焊接头太宽,将形成镍的硼化物,并集中在钎缝中间。

当钎焊温度为 1180°C 增加,在较短的时间内,钎料能充分熔化,流动性好,钎料向母材扩散过程中,钎料填充饱满,钎缝变窄,钎料完全润湿母材,形成良好的钎缝。钎料向盖板和叶片盘扩散,最终形成钎焊接头的宽度为 $19\mu\text{m}$,钎料向盖板和叶片盘分别扩散大约 $15\mu\text{m}$ 、 $13\mu\text{m}$ 。采用 BNi94SiB980-1065 钎料钎焊 1Cr12Ni3Mo2V 扩压器,钎料向铁基母材两边扩散均匀,钎缝与母材的界面结合良好。根据涡轴某发动机的要求,良好的钎缝扩散层应低于 $30\mu\text{m}$ 。

膏状钎料仅在测试试样的一边渗透,盖板和榫头的顶端通过毛细作用达到钎料流动,然后沿着盖板和叶片扩散,达到盖板和叶片盘的连接。

3.2 钎焊质量的超声波检测结果

钎透率是众多商家评价钎焊质量、接头质量的重要指标之一,根据涡轴某发动机规定钎焊接头的钎透率必

须大于 80%。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。当真空钎焊温度为 1180℃,保温 30min,盖板和叶片盘及盖板和榫头的顶端连接的超声波检测结果分别如图 4 和图 5 所示。从图 4 中我们可以看出扩压器的钎缝质量良好,钎透率几乎达到 100%;图 5 的钎透率达到 85% 以上。

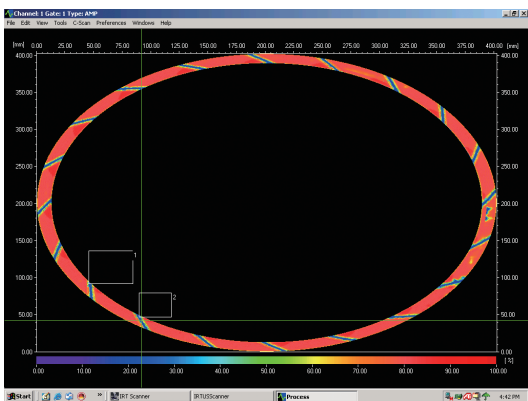


图4 超声波检测图-2A区

Fig.4 Ultrasonic inspection photo-2A zone

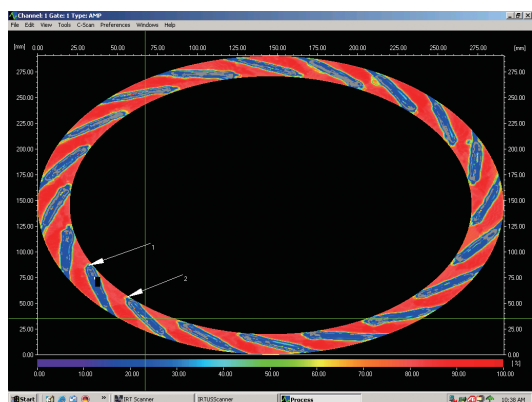


图5 超声波检测图-2B区

Fig.5 Ultrasonic inspection photo-2B zone

3.3 钎焊温度对力学性能的影响

钎焊温度为 1130℃ 和 1180℃,我们分别做了试验。当钎焊温度为 1130℃ 时,钎缝的强度低,都小于 400MPa,未能满足要求;钎焊温度 1180℃ 时,钎缝的拉伸强度高,具体如表 4 所示,真空钎焊试样的拉伸强度的平均值为 692 MPa,满足技术要求。当温度为 1180℃

表4 钎焊温度1180℃的钎焊试样的拉伸强度

序号	试样的拉伸强度 /MPa	技术要求的强度 /MPa	试样拉伸强度的平均值 /MPa
1	730	大于 530	692
2	675		
3	670		

时,钎料完全熔化、粘度小、流动性好,钎料向母材充分扩散,钎缝形成良好,强度提高。

4 钎焊过程的控制技术

4.1 控制焊前清理

为保证钎焊质量,不锈钢钎焊前的清理要求比碳钢更为严格。因为不锈钢耐蚀性使 1Cr12Ni3Mo2V 基体易产生溶蚀等缺陷,而溶蚀缺陷的形成将导致在基体上形成开裂,最终造成扩压器接头断裂。

不锈钢钎焊前的清理应包括清除所有油脂和油膜的脱脂工作,待焊的接头表面还要进行机械清理或酸液清洗,但要避免用金属丝刷擦刷。清理后必须注意灰尘、油脂或指痕重新污染已清理过的表面。零件清洗之后立即进行钎焊。

4.2 钎焊工艺控制

镍基钎料 BNi94SiB980-1065 熔点很高,为避免操作不当引起的钎焊金属晶粒长大和溶蚀缺陷产生,1Cr12Ni3Mo2V 扩压器进行高温钎焊时,采用真空钎焊尤为重要。

要求真空钎焊设备必须具有良好的温度控制精度,即钎焊温度偏差要求在 $\pm 5^\circ\text{C}$,并能快速加热和加速冷却,真空钎焊设备的工作真空度要求在 $1.33 \times 10^{-4} \sim 13.3\text{Pa}$ 之间。

真空钎焊时,利用热电偶对真空钎焊温度进行实时检测,通过温度反馈,控制真空钎焊温度的均匀性,保证真空钎焊质量。

4.3 焊接工装控制

真空钎焊 1Cr12Ni3Mo2V 扩压器时,使用石墨环作为工装夹具,利用自然配重的方法对零件施加压力,避免对零件进行约束造成较大焊接应力,保证真空钎焊质量。

5 结论

(1) 钎焊温度对 1Cr12Ni3Mo2V 扩压器形成良好的钎缝很重要。

(2) 超声波扫描技术是检查真空钎焊接头钎透率的可靠手段之一。

(3) 通过钎焊过程的控制技术,可有效避免不锈钢扩压器高温钎焊接头的缺陷产生。

参考文献

[1] 赵越. 钎焊技术及应用. 北京: 化学工业出版社, 2004: 10-15.
 [2] 许威,何景山,冯吉才. TiAl/Ag-Cu-Ni-Li/35CrMo 感应钎焊接头的组织特征. 焊接学报, 2005, 26(3):13-16.

(责编 亦非)