

高压涡轮双联导向叶片真空钎焊技术

中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 (辽宁 110043) 孔庆吉 杜 静 桓 恒

【摘要】 根据某航空发动机高压涡轮双联导向叶片钎焊的需要, 采用B-Ni55钎料, 进行钎焊工艺性能、K465合金钎焊接头组织及力学性能的研究; 并在此基础上进行了高压涡轮双联导向叶片的钎焊工艺试验研究和生产应用。结果表明, 在一定工艺条件下B-Ni55钎料对K465合金具有良好钎焊工艺性能, 钎焊接头的力学性能较高, 所确定的钎焊工艺可满足某发动机高压涡轮双联导向叶片的钎焊要求。

1. 概述

某航空发动机高压涡轮双联导向叶片为钎焊构件, 该双联叶片钎焊加工的主要问题是叶片最高工作温度约1000℃, 工作时受热冲击作用, 要求钎焊接头具有优良的高温性能; 同时叶片的钎焊对流通尺寸要求比较严格, 流通尺寸公差要求是 $\pm 0.2\text{mm}$, 安装板流道面相互之间突出量要求 $\leq 0.2\text{mm}$, 由此使单个叶片的加工和组合装配难度较大; 另外, K465合金属于难钎焊材料, 工艺条件要求高。

鉴于该组件钎焊加工难度大, 并且其结构、材料的钎焊工艺以往未有先例, 为此, 针对高压涡轮双联导向叶片的真空钎焊开展了一系列工艺研究。试验确定了钎焊参数, 掌握了钎焊接头的组织和力学性能, 摸索出了一套K465合金导向叶片的钎焊工艺, 确保了组件的交付质量, 满足了某航空发动机高压涡轮双联导向叶片研制生产的需要。

2. 组件结构、材料

高压涡轮双联导向叶片由两个单联叶片组成, 叶片安装板之间由钎焊方法连接, 叶片结构如图1

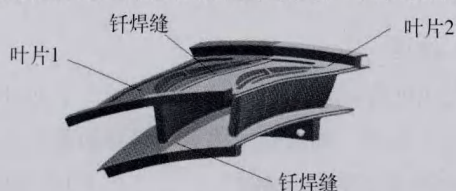


图1 高压涡轮双联导向叶片结构

所示。叶片材料为K465镍基铸造高温合金, 材料的主要化学成分如表1所示。

表1 K465合金的主要化学成分(质量分数) (%)

C	Cr	Ti	Al	Mo	W	Co	Nb	B	Ni
0.13	8.0	2.0	5.1	1.2	9.5	9.5	0.8	≤ 0.035	余量
~	~	~	~	~	~	~	~		
0.20	9.5	2.9	6.0	2.4	11.0	10.5	1.2		

3. 钎料选择及钎焊性试验

(1) 钎料选择 根据K465合金的化学成分、物理性能、热处理制度及钎焊接头高温高强度的要求, 双联叶片的钎焊连接选择镍基粉状B-Ni55钎料。该钎料熔化温度为1194~1210℃, 主要化学成分如表2所示。

表2 B-Ni55钎料主要化学成分(质量分数) (%)

Ni	Al	W	Co	Mo	Cr	Ti	Nb	Si	C	O	B
4.0	8.5	8.5	1.6	6.0	0.3	10.0	2.5	0.10	≤ 0.03	$\sim$	0.25
~	~	~	~	~	~	~	~	~			~
5.0	9.5	9.5	2.0	7.0	0.9	11.0	3.0	0.15			0.35

(2) 钎焊工艺性能试验 钎焊工艺性能试验在VBFV-300真空炉中进行, 设备工作温度为550~1350℃, 温度均匀性为 $\pm 5^\circ\text{C}$, 极限真空压力为 $1 \times 10^{-3}\text{Pa}$ 。

钎焊工艺性能试验是采用B-Ni55镍基钎料对K465合金进行钎焊润湿性和填充间隙能力试验。钎料润湿性试样是在尺寸为40mm×40mm×2mm的K465合金板片的中央放置B-Ni55钎料0.5g。填

充间隙能力试验采用T试样,在零间隙端放置足量的B-Ni55钎料。

钎焊试验参数:在整个升温、保温及随炉冷却过程中真空压力小于 1×10^{-2} Pa,升温速率为 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}/\text{min}$,钎焊温度分别为 1210°C 、 1220°C 、 1230°C ,钎焊保温时间30min,由钎焊温度随炉冷至 1000°C 时进行快速冷却,100℃以下出炉。

按上述三种钎焊试验参数进行润湿性试验,结果表明,钎焊后K465板片上的钎料都全部铺展漫流开,钎料表面白亮光滑,说明钎料对K465合金具有良好的铺展、润湿性。

按上述三种钎焊试验参数进行填充间隙能力试验,结果表明,钎料全部漫流开且填满T试样的楔型间隙,钎料填充的最大间隙分别达到0.75mm、0.9mm、1.0mm,说明钎料具有良好的填充间隙能力。

(3) 钎焊接头的组织和力学性能试验 金相试样与钎焊接头力学性能试样是采用尺寸为 $\phi 13\text{mm} \times 33\text{mm}$ 的K465钎焊试棒进行K465+K465同种材料组合对接。钎焊接头间隙 $\leq 0.2\text{mm}$,用储能点焊组合固定后于接头处涂敷适量的B-Ni55膏状钎料,钎焊后将对接钎焊试棒(见图2)沿轴向切割取金相试样,将对接钎焊试棒按YW-460加工成标准力学性能试样。

钎焊参数:在整个升温、保温及随炉冷却过程中真空压力小于 1×10^{-2} Pa,钎焊温度为 1220°C ,钎焊保温时间30 min,升温速率为 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}/\text{min}$,由钎焊温度冷至 1000°C 时进行快速冷却,100℃以下出炉。

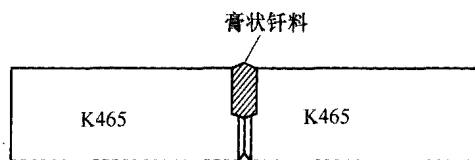


图2 对接钎焊试棒

首先,钎焊接头的组织,K465+K465钎焊接头的金相组织如图3所示。从图中可以看出,在光学显微镜下,可以看到钎缝中有 γ 固溶体、 $(\gamma + \gamma')$ 共晶、白色块状、灰色不规则条状(或块状)和白色骨架状相,同时可看到, $(\gamma + \gamma')$ 共晶在K465+K465钎缝中主要分布在两侧边缘,块状、骨架状、不规则条状相主要分布在钎缝中部。

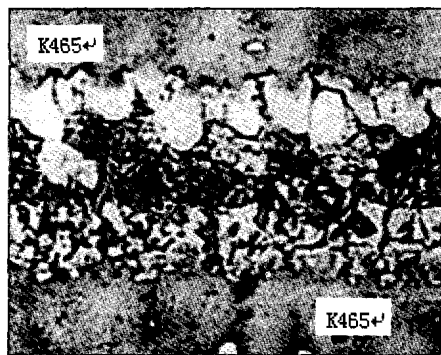


图3 K465+K465钎焊接头的金相组织100×

其次,钎焊接头在 850°C 、 975°C 条件下的力学性能如表3、表4所示。

表3 K465+K465 钎焊接头的瞬时拉伸强度

钎料	试验温度/ $^{\circ}\text{C}$	R_m /MPa	R_m 平均值/MPa	断裂部位
B-Ni55	850	780,715,795	763.3	钎缝
	975	565,630,570	588.3	钎缝

表4 K465+K465钎焊接头的持久性能

钎料	试验温度/ $^{\circ}\text{C}$	试验应力 /MPa	试验时间/h	断裂部位
B-Ni55	975	180	46.5, 50.3, 42.2	钎缝

从表3可以看出,K465+K465钎焊接头在 975°C 高温仍具有较高的拉伸强度,平均强度值达588.3MPa。从表4可以看出,K465+K465钎焊接头在 975°C 时的持久性能可达母材持久指标应力(225MPa,>40h)的80%。

4. 高压涡轮双联导向叶片的钎焊工艺研究及生产应用

(1) 钎焊工艺研究 在工艺性能和使用性能研究的基础上,对高压涡轮双联导向叶片的钎焊工艺进行了试验研究,针对钎焊难点问题采取相应措施,通过试验件钎焊优化工艺。

具体工艺如下:

焊前准备:先用装有合金磨头的打磨机清理与叶片待焊面相邻表面的氧化皮,使基体呈现金属光泽,打磨宽度为4~5mm。然后将叶片依次用汽油($120^{\#}$)、酒精清洗,且要求清洗后零件表面及内腔无油脂及其他杂质。

叶片装配定位焊:叶片装配定位焊前,必须按图4在夹具上对叶片选配试装,由夹具控制组合叶片流道尺寸的公差($\pm 0.2\text{mm}$),叶片之间装配间隙 $\leq 0.1\text{mm}$,同时控制流道面相互之间突出量 $\leq$

0.2mm, 试装满足设计要求的同组合叶片分组摆放并进行标记。之后, 将配对叶片在夹具上正式组合装配, 装配尺寸确定后, 在图示位置用储能点焊借助于8mm×6mm×0.8mm的高温合金片(内外共8个)对叶片进行定位; 储能点焊电压为100~150V, 要求点焊应牢固。

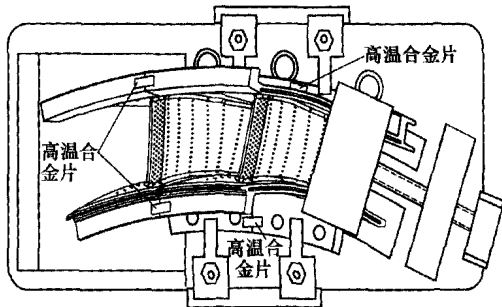


图4 装配定位焊示意

涂料及烘干: 将粉状B-Ni55钎料与钎焊粘结剂按一定比例混合调制成膏状, 用涂敷器将钎料涂于待焊接头周围, 膏状钎料直径1.6~2.0mm。在气膜孔周围涂阻流剂, 以防止钎焊时钎料流入气膜孔。涂料后, 将组件放置在(140±10)℃烘干箱内烘干1~2h。

真空钎焊: 将组件放置在钎焊夹具上, 随夹具一同入炉进行真空钎焊。钎焊参数如图5所示。钎焊升温过程中, 若真空压力大于 1×10^{-2} Pa, 应减小升温速率或将程序进行保持, 待真空压力小于 1×10^{-2} Pa时方可继续升温。

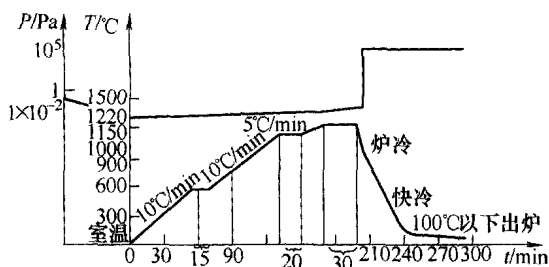


图5 真空钎焊参数曲线

(2) **钎焊质量检测** 按上述钎焊工艺钎焊的高压涡轮双联导向叶片, 根据相关标准和设计图要求进行了质量检测。

首先, 对钎焊组合件的焊接质量进行外观检测, 检查结果表明, 钎焊接头外端钎料连续、光滑, 无气孔、缩松等缺陷, 钎焊质量符合标准要求。

其次, 将叶片之间的钎焊接头剖切进行内部钎焊质量金相检查, 结果表明: 钎缝无未焊上、气孔

及缩松等缺陷。

钎焊组件尺寸检查结果表明: 组件的流道尺寸符合设计图要求。

(3) **钎焊工艺生产应用** 按研究确定的钎焊工艺先后焊接了3台份(共计60件)高压涡轮双联导向叶片, 经检验所钎焊的组件完全符合设计图及相关技术条件要求, 且钎焊质量稳定。目前, 部分组件已经装机使用。

5. 结语

(1) 一定的工艺条件下, B-Ni55钎料对K465合金具有良好的钎焊工艺性能。

(2) K465+K465钎焊接头高温力学性能较高, 975℃高温拉伸强度平均值达588.3 MPa, 975℃持久性能可达母材持久指标应力(225 MPa, >40h)的80%。

(3) 生产实践证明, 研究确定的钎焊工艺适用于高压涡轮双联导向叶片的真空钎焊。MW

(20121015)

《金属加工(冷加工)》

2012年第24期要目

外圆磨床加工薄壁套

大型蒸汽室的加工技术

软基体自由磨具光整加工技术

薄壁回转体的加工工艺研究

大圆弧上中心线相交斜孔的加工方法

细长作动杆加工

百微米级端面微细槽插削技术研究

螺旋下刀在数控铣床中的应用

变形铝合金的数控车削技术

轴杆类零件数控加工的无对刀操作工艺

数控车床对向车削结构的研究

连接板冲豁模的工艺改进

杯形件预成型挤压模具的设计

数控线切割加工铝件常遇的问题与解决方法

组合体铣削实例解析

螺旋锥齿轮加工方法探讨

一种筒形件的气动车削夹具

滚柱导轨块的应用技术

镀涂前螺纹中径三针测量