

航空发动机整流器气体保护钎焊技术研究

Research of Gas Protective Brazing Technology for Aeroengine Rectifier

中航工业贵州航空动力有限公司 谢黎雄

[摘要] 本文叙述了气体保护钎焊的机理和工艺方法,系统分析了影响航空发动机整流器钎焊质量的诸多因素,对钎焊过程中产生的缺陷进行了分析,采取了针对性的措施,使整流器钎焊的一次合格率由49.3%提高到80.7%。

关键词: 气体保护 钎焊 整流器

[ABSTRACT] The mechanism and technology of gas protective brazing is discussed. A series of factors that affected brazing quality of aeroengine rectifier is analyzed systematically, and reasons forming brazing defects are studied. By means of taking corresponding measures, the rate of qualified products is increased from 49.3% to 80.7%.

Keywords: Gas Protection Brazing Rectifier

整流器是某发动机中控制气流的部件,由外环和叶片组装而成,叶片与外环通过钎焊实现连接。要求钎焊的接头要有较高的强度,能承受大的交变应力作用而不发生开裂。因此,焊接质量要求很高,这对焊接的技术和工艺提出了很高的要求。我们曾试图采用真空钎焊,但设计图给出的锰基钎料在低真空状态下就会发生锰元素的蒸发,产生结壳现象,使钎料丧失了流动性。采用气体分压方式向真空炉内通入惰性气体以提高炉内压力,受设备分压能力的限制,不能满足要求。因此,只能采用装箱通入保护气体进行钎焊。我们设计了专用气体保护箱和高温加热炉进行气体保护钎焊的工艺研究。

1 钎焊的机理

钎焊是液态钎料流动和填充焊接面缝隙的过程,要获得优质的钎焊接头,熔化的钎料必须能够润湿固态的母材并与母材发生物理化学作用,相互作用,并非任何熔化的钎料都能顺利地填入到焊接的缝隙中,必须具备一定的条件,液态钎料对固态母材的润湿铺展以及焊缝间隙的毛细作用是熔化钎料填缝的基本条件^[1]。

2 整流器叶片的钎焊

整流器的结构如图1所示,由外环和叶片组装而成,叶片底部与外环内侧的接触面及叶片与叶片间的接触缝

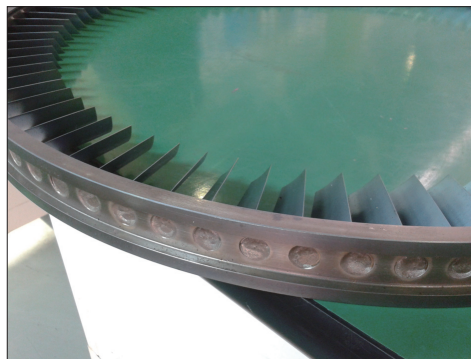


图1 整流器组件

Fig.1 Unit-construction structure of rectifier

隙为钎焊部位。

2.1 钎焊前的准备

2.1.1 清洗和脱脂

将整流器组件放入超声波清洗机中按要求进行清洗,清洗液加热到一定温度,清洗效果更好,然后在真空炉中进行加热,去除零件和工装夹具上的油脂。

2.1.2 装填钎料

将厚度0.30mm箔片状钎料裁成直径略小于钎料填充孔直径的小圆片,用电阻焊方法将圆片状钎料点焊固定在圆孔内,按工艺要求的用量填加。

2.1.3 装入气体保护箱

将装好钎料的整流器组件放入如图2所示的气体保护箱内平放。在气体保护箱内周边和中央放入适量的氟硼酸钾(KBF_4)作为钎剂,用于去除钎料和母材表面的氧化膜。用高温石棉布将砂封槽圆周塞紧,防止气体逸出。

2.2 入炉钎焊

将气体保护箱通入高纯度的氩气,按工艺在专用高温井式炉中进行加热和保温,当满足钎料熔化和铺展的保温时间达到后,切断电源打开炉门随炉降温,当温度下降到低于钎料凝固温度时,将气体保护箱出炉,在自然条件下冷却,冷至150℃以下时打开气体保护箱盖,取出钎焊的零件,工艺过程结束。

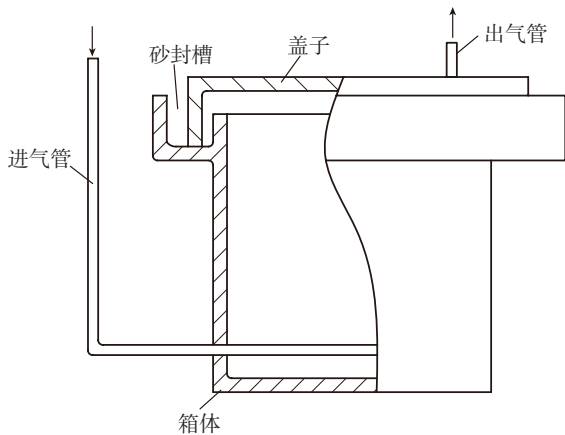


图2 气体保护箱
Fig.2 Box of gas protective brazing

3 影响钎焊质量的因素分析

按上述方法进行了多炉次的钎焊试验,其钎焊的质量极不稳定,时好时坏,主要问题是钎透率(钎透率为钎料铺展面积与钎焊件搭接面积之比)达不到工艺要求,钎焊面出现大片未钎着的区域(图3中白色部分)。钎透率的检查是按照现行企业标准 Q12BY(S)095-2009 用水浸超声波探伤法,要求每一处焊点的钎透率 $\geq 70\%$ 为合格。从质量检验部门统计的 2009 年 12 月~2010 年 6 月整流器钎焊检查结果看,钎焊的合格率只有 49.3%,严重影响了生产进度和产品的质量,制约了生产进度,我们从钎焊的每一个环节入手,寻找影响的因素。

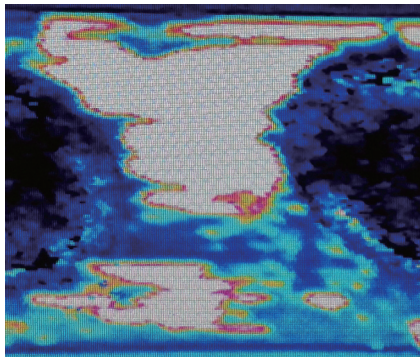


图3 钎料包围形成气孔
Fig.3 Holes formed by melting brazing filler

3.1 整流器组件的装配间隙

由于钎焊时钎料是通过毛细作用而进入到钎缝之中的,如果钎缝间隙过大,毛细作用减弱甚至没有毛细作用,实际工作中我们对每个叶片与外环的装配间隙进行了逐一地测量和控制,发现间隙小于 0.10mm 的钎透率高,而大于 0.15mm 时,钎透率很低。因此,对环与叶片的间隙超过 0.10mm 的部位用打冲点的方法来减小间隙,以此来满足间隙要求。提高钎焊缝毛细作用的效果。

3.2 工件表面的洁净度

由于钎料的润湿和铺展需要洁净的表面,如果表面不清洁,特别是有油污会增大固-液间的界面张力,阻止液态钎料对母材的润湿,使钎料无法铺展^[2]。因此,零件的清洁十分重要。我们做过试验,在涂抹油脂的部位,没有任何钎透痕迹。前期采用的是在清洗液中浸泡,洁净效果不佳。后采用浸泡加超声波振动清洗,对细小狭缝也能达到很好的清洁效果。对工装和零件还应在真空炉中进行脱脂处理,以达到净化表面的目的。

3.3 钎焊的温度和保温时间

钎焊的温度设定在高于钎料熔化温度 20~60℃ 之间,温度高有利于钎料的润湿和铺展,但温度过高一方面钎料铺展能力过强,会造成钎料流失^[3],另一方面会引起母材晶粒长大,母材向钎料中溶解速度增大,导致母材发生溶蚀现象,产生焊接缺陷^[4]。因此,钎焊必须在母材发生强烈晶粒长大或过烧的温度以下进行。

保温时间的确定是由钎料填充缝隙过程所需的完成时间来确定,时间过短,钎料来不及铺展到整个焊缝,造成未钎透,时间不足,钎料与母材的反应不充分,造成钎头强度降低。时间过长会产生溶蚀。钎焊的保温时间与钎焊温度不是相互孤立地确定,它们之间存在着一定的补偿关系,即升高温度适当缩短保温时间,反之,延长保温时间^[5]。为了严格控制加热温度,我们在气体保护箱内的焊接处放置了跟踪热电偶,以跟踪热电偶的指示温度为准,到温计算保温时间,而不是以炉膛的仪表指示温度作为计算依据,因为气体保护箱内的温度滞后于炉膛温度。

3.4 氧化膜的去除

不论是母材还是钎料的表面都会形成氧化膜,氧化膜的存在阻碍了钎料的润湿和铺展,必须加以去除,气体保护箱内虽然通入了高纯度的惰性气体,但在高温下去除氧化膜的作用较弱,有效的做法是加入钎剂。氟硼酸钾在 800~900℃ 发生如下化学反应:



生成的 KF、BF₃ 气体与工件和钎料的表面发生化学反应,具有较强的去除氧化膜能力。我们在气体保护箱内靠近钎焊部位放入适量的粉状氟硼酸钾,用来去除表面钝化膜。

4 钎焊的缺陷及防止措施

4.1 缺陷的主要形式和成因

钎焊缺陷是指钎焊过程中在焊接接头处产生的不连续、不致密或连接不良的现象。一个钎焊过程需经过多道工序,如钎料的准备、清洗、零件装配、钎料装填与固定、气体保护加热保温等。在工艺过程中如果焊前工

件表面清洁不到位,钎料和钎剂的种类及数量搭配不合理,接头形式或接头间隙不合适,加热温度和保温时间不当,以及人员水平不高,都会影响到钎焊质量,只要某个环节操作不当就可能出现相应的钎焊缺陷。

在整流器钎焊中,最常见的缺陷是未钎透、溶蚀和钎瘤。未钎透是由于钎料在填缝过程中受到了某些因素的影响,使钎料的润湿和铺展不能连续地进行。如钎缝的间隙过大,使得毛细作用减弱,钎料不能完全填满缝隙,造成未钎透。表面的污染会阻碍钎料的铺展,形成空洞造成未钎透,由于钎料在不同部位的铺展速度不一致,钎焊时钎料沿着毛细作用强的较小间隙优先铺展,当两个区域的支流汇合时,就会形成包围现象,如图3所示。被包围的气体很难被排出钎缝,产生气孔和夹渣。

溶蚀是母材向钎料过度溶解造成的几何尺寸缺失。这种缺陷一般发生在钎料安置处。主要原因是由于钎料中含有较多的低熔点元素,在高温停留时间较长会与母材发生扩散反应,降低母材的熔点而产生局部熔化形成溶蚀,如图4所示。钎焊时,钎料除向钎缝流动外,还可能流向焊缝以外的地方。钎瘤的产生是钎料流淌堆积在不希望的部位,如图5所示。

4.2 预防及改进措施

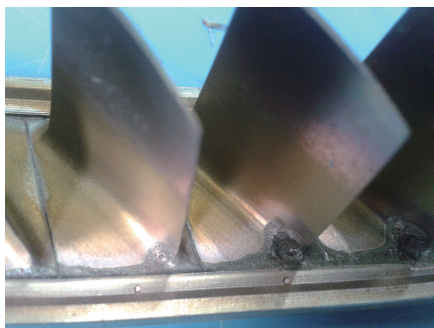


图4 溶蚀产生的孔洞

Fig.4 Holes formed by solvable brazing filler



图5 钎料流淌形成钎瘤

Fig.5 Tubercle of brazing formed by brazing filler flowing

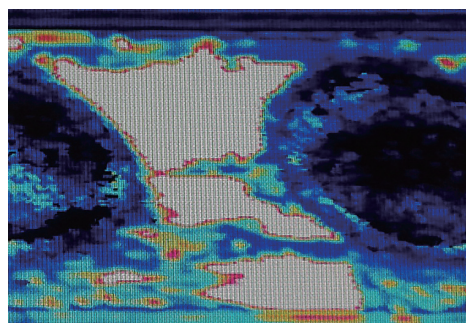
要防止大面积未钎透的发生,必须严格保证钎缝的间隙,同时尽可能使间隙的大小一致。严格按工艺要求对表面进行彻底清洁,在操作过程中必须戴干净的手套,严禁赤手触摸清洁过的表面。

针对溶蚀产生的原因,应严格控制钎焊的温度和高温下的停留时间,防止钎料中低熔点的因素向母材的扩散而降低母材的熔点。并严格控制钎料用量。

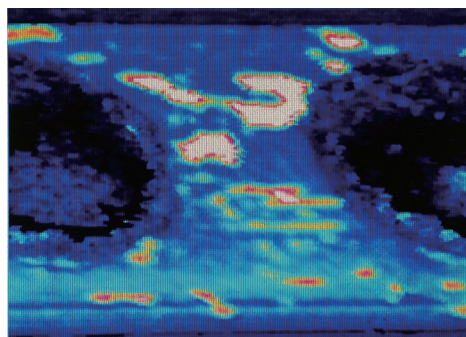
为了防止过多的钎料流淌到非钎焊部位而形成钎瘤,采取的措施是严格控制钎料的加入量,在不希望钎着的部位涂抹上阻流剂,防止钎料流到非钎焊面。

4.3 实施效果

根据对影响钎焊质量的原因分析,采取了相应的改进措施,在后续的整流器钎焊中我们与机加车间多次研究和协调,严格控制每道工序的操作过程。针对钎透率低的问题运用六西格玛管理方法找出了关键的因素,即清洁度和间隙控制。在后续生产的各级整流器中,贯彻了新的措施并纳入到工艺规程当中,对重要控制点的操作过程和工艺参数进行记录,使钎焊合格率显著提高,一次焊接合格率由不到50%提高到80.7%,钎透率 $\leq 70\%$ 的焊点由原来占总焊点数的10%~30%缩小到0~3%,图6是改进前后的钎焊部位超声波扫描图像,从中可以看出钎透率有了明显改善,表明原因分析和采取的改进措施有效。



(a) 工艺改进前



(b) 工艺改进后

图6 钎焊部位超声波扫描图像

Fig.6 Photograph of ultrasonic scanning with brazing position

(下转第159页)

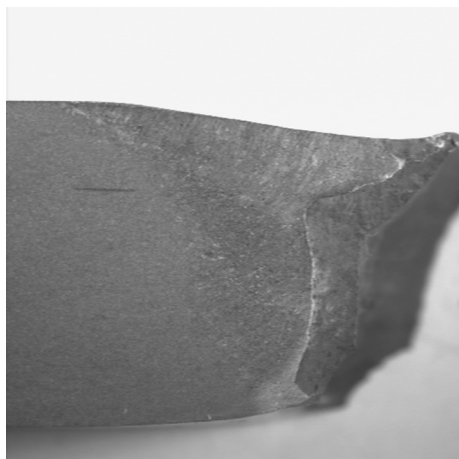


图5 15mm厚试件低倍形貌(7×)

Fig.5 Low magnification morphology of 15mm thick specimen (7×)

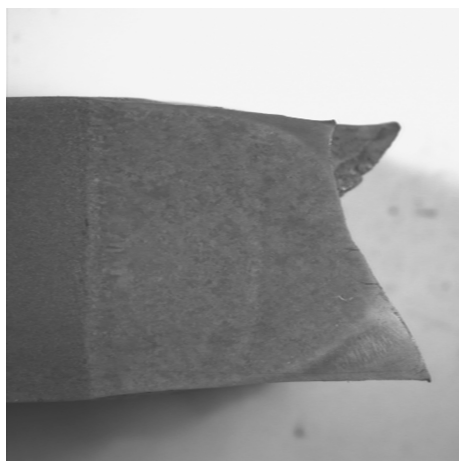


图6 26mm厚试件低倍形貌(5×)

Fig.6 Low magnification morphology of 26mm thick specimen (5×)

形, 所以其断裂为宏观塑性断裂。这符合该钢热处理后的调制组织要求, 即在保持高强度的情况下具有一定的塑韧性, 符合起落架零件对钢的性能要求。

经上述试验总结得出的焊接规范参数, 工艺过程都完全满足生产要求, 图7为按试验结果焊接成形的某型

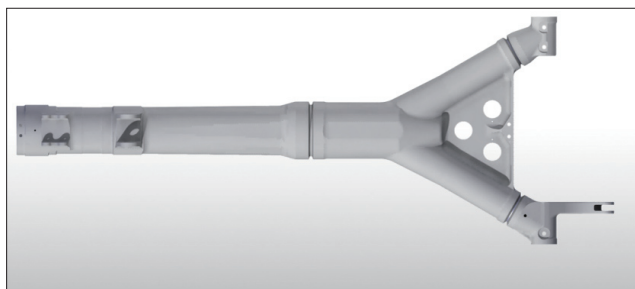


图7 某型机起落架左外筒组件

Fig.7 Left outer tube components of certain aircraft undercarriage

机起落架左外筒组件。

3 结论

(1) 通过弧焊机器人的使用操作和工艺试验, 摸索出了合理的焊接规范参数, 得出的焊接电流、焊接电压、焊接速度等规范参数可完全满足各厚度焊缝的无损检测要求。

(2) 通过对 15mm、26mm 厚焊缝的机械性能试验, 得出了焊缝的拉伸强度和冲击韧性值。其中 15mm 厚试样抗拉强度 1437.2MPa, 冲击韧性值 611.4kJ/m²; 26mm 厚试样抗拉强度 1192.8MPa, 冲击韧性值 1040.8kJ/m², 满足图纸要求的强度最小极限值 880MPa, 冲击韧性最小极限值 490kJ/m²。

(3) 全自动弧焊机器人可用于起落架组件(材料 30CrMnSiNi2A) 的焊接。

参考文献

[1] 王旭亮, 聂宏, 薛彩军, 等. 飞机起落架疲劳与可靠性技术研究综述 // 中国航空学会. 大型飞机关键技术高层论坛暨中国航空学会 2007 年学术年会论文集. 北京: 中国航空学会, 2007.

[2] 刘天琦. 飞机起落架用材发展 // 中国航空学会. 大型飞机关键技术高层论坛暨中国航空学会 2007 年学术年会论文集. 北京: 中国航空学会, 2007.

[3] 周振丰, 张文钺. 焊接冶金与金属焊接性. 北京: 机械工业出版社, 1987.

(责编 小城)

(上接第 147 页)

5 结论

(1) 要获得良好的钎焊效果(高的钎透率), 必须严格控制焊缝的间隙, 应小于 0.10mm, 以增大毛细作用效果, 使钎料能填满整个缝隙。

(2) 必须严格清洁钎焊表面, 必须使用超声波清洗, 才能对狭缝获得良好的清洗效果。采用加温清洗效果更佳。

(3) 要严格控制钎焊时的加热温度和保温时间, 防止发生溶蚀和材料力学性能的降低, 以焊缝处的跟踪热电偶指示温度为准, 严格按工艺控制保温时间。

参考文献

[1] 张学军. 航空钎焊技术. 北京: 航空工业出版社, 2008.

[2] 邓建. 钎焊. 北京: 机械工业出版社, 1979.

[3] 邹禧. 钎焊. 北京: 机械工业出版社, 1989.

[4] 庄鸿寿, 罗格夏特. 高温钎焊. 北京: 国防工业出版社, 1989.

[5] 方洪渊. 简明钎焊工手册. 北京: 机械工业出版社, 1999.

(责编 小城)