



6063铝合金真空钎焊工艺研究

周运海

【摘要】对6063铝合金进行真空钎焊试验。研究了加热梯度、焊接温度对焊缝致密度和气密性的影响。结果表明,随着加热梯度的增加,母材熔蚀情况逐渐消失;焊接温度由610℃降至590℃,在600℃获得密封腔体焊缝致密,气密性达1.5MPa。

关键词: 铝合金; 真空钎焊; 加热梯度; 焊接温度

1. 概述

由于6063铝合金具有比强度大、比刚度高、质量轻、耐腐蚀性、导电导热性能好等优点,且6063铝合金属于可热处理强化铝合金,可在焊接后进行热处理对强度进行回复,因此在航空、航天、船舶等领域应用广泛。某雷达组件属薄壁腔体结构,为减轻重量、提高强度,采用6063铝合金。该零件为两面对称焊接,焊接面为整个接触面,适合采用真空钎焊进行焊接,但6063铝合金固相线温度为615℃,与目前的钎料熔点接近,真空钎焊过程中钎焊温度和保温时间难以确定。

为实现雷达薄壁结构件精密焊接成形,采用真空钎焊进行该结构件焊接,试验不同加热保温工艺对焊接质量的影响,以获得最佳的工艺参数。

2. 试验材料与方法

(1) 试验材料 试验母材选

择6063,厚度30mm,钎料选择4004,厚度0.15mm,其主要化学成分及熔化范围如表1、表2所示。

(2) 试验方法 将6063铝合金加工成带有型腔的试件,利用中国电子科技集团公司第二研究所研制的ZHS150真空钎焊炉进行真空钎焊试验。主要试验参数:加热温度梯度、焊接温度,加热时保证炉内气压低于 6.67×10^{-3} Pa,焊接后采用专用泄漏检测系统SY-SLBFTY进行气密性检测;无损检测在超声C扫UT-Scan上进行,研究试件在

不同加热温度梯度和焊接温度对焊接质量的影响。试验分两组进行:①研究加热温度梯度变化对焊接质量的影响,将试件分别在400~610℃之间以不同温度梯度加热至焊接温度。②研究焊接温度变化对焊接质量的影响,将试件以相同的温度梯度加热至590~610℃区间内不同焊接温度进行焊接。

3. 试验结果与分析

(1) 加热温度梯度对焊接质量的影响 首先,加热温度梯度设置如图1~图3所示。焊前试件如图4所示。

表1 铝合金6063主要化学成分及熔化温度

化学成分(质量分数,%)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
	0.2	0.06	0.065	0.052	0.58	0.008	0.01	0.024	其余
熔化温度/℃	615~660								

表2 钎料4004主要化学成分及熔化温度

化学成分(质量分数,%)	Si	Mg	Al
	9~10.5	1.0~2.0	其余
熔化温度/℃	559~591		

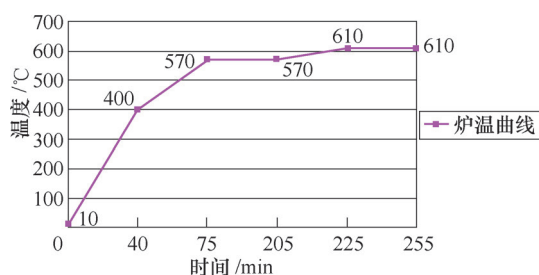


图1 570℃保温

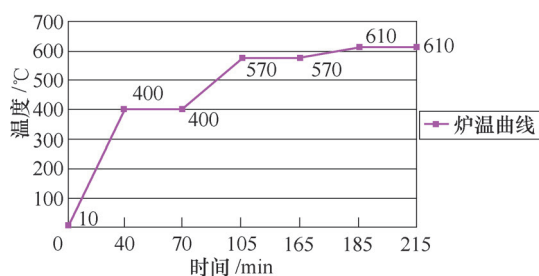


图2 400℃、570℃保温

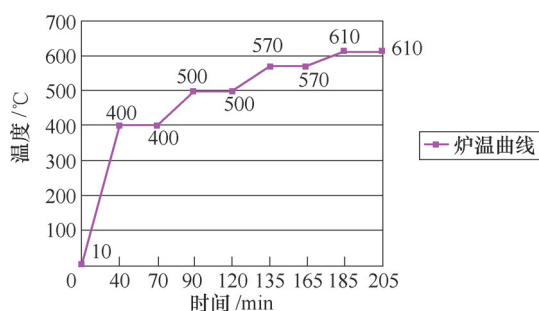


图3 400℃、500℃、570℃保温

其次，结果与分析：图1为在加热至焊接温度前仅设置570℃唯一加热梯度的钎焊温度设置曲线，加热的结果是焊接母材和焊料完全熔化；图2在钎焊过程中设置400℃、570℃两个温度梯度，焊接的结果如图5a所示，母材焊接在一起，但是整个试件表面有熔蚀的现象；图3是在钎焊过程中设置400℃、500℃、570℃两个温度梯度，焊接的结果如图5b所示，母材焊接在一起，且试件表面熔蚀程度减弱。

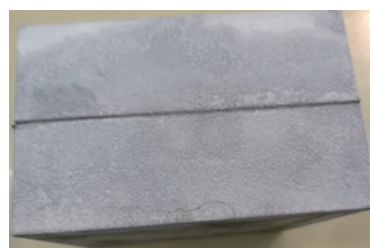
通过这组试验可发现，随着

温度梯度的增加，焊接结果由母材直接熔化到母材焊接良好，无明显熔蚀，这主要是由于试件较厚，焊接梯度设置较少时，当炉温升至570℃保温，试件内外温差较大，待其内外温度一致时需接近5h的较长实际保温时间。在高温保温阶段，一方面由于母材内部部分低熔点合金的偏聚熔化，加快固液转化速率至母材熔化；另一方面，由于钎料Si含量较高，流动性好，长时间高温保温导致其扩散到试件表面，且使固相成分达到钎焊成分时，导致固相熔化，产生熔蚀；随着温

度梯度的增加，试件内外温差较小，高温保温时间逐渐缩短，母材熔蚀现象逐渐减少。



图4 焊前试件



(a) 400℃、570℃保温



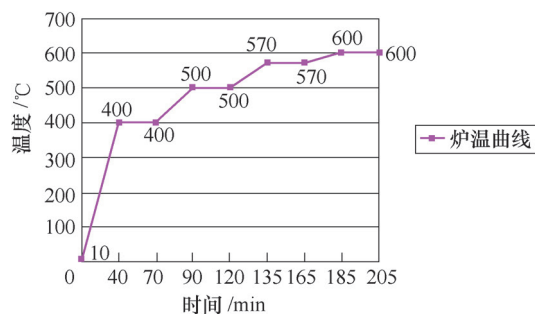
(b) 400℃、500℃、570℃保温

图5 不同加热梯度下的焊缝

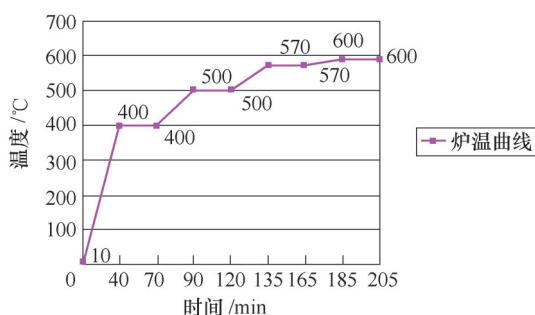
(2) 焊接温度对焊接质量的影响 首先，焊接温度设置如图6所示。

其次，结果及分析：根据上组试验结果，可发现在610℃下焊接，试件表面仍有少量熔蚀现象存在。为解决这一问题，此组试验主要是通过选用不同焊接温度，对比不同焊接温度对应的焊接质量获得最佳的焊接温度。

图7a为焊接温度降至600℃时焊缝情况，在600℃焊接温度下保温焊接，焊料得到充分熔化，润湿效果较好，焊缝饱满，且母材表面无熔蚀现象；随着焊



(a) 600℃焊接

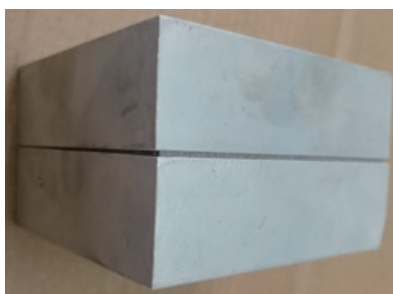


(b) 590℃焊接

图6 不同真空钎焊温度设置曲线



(a) 600℃焊接



(b) 590℃焊接

图7 不同焊接温度下焊缝

接温度降至590℃时，焊料未得到充分熔化，润湿效果较差，焊缝不饱满（见图7b）。

(3) 试件性能检测 首先，气密性检测：为达到产品要求，对图7a和图7b两试件分别做气密性检测，发现在1.5MPa压力保压30min，图7a试件未发现泄漏，图7b有泄漏。表明在400℃、500℃、570℃保温，600℃焊接时能够获得密封性较好的腔体。

其次，无损检测：对图7a对应的试件做超声C扫描检测，结

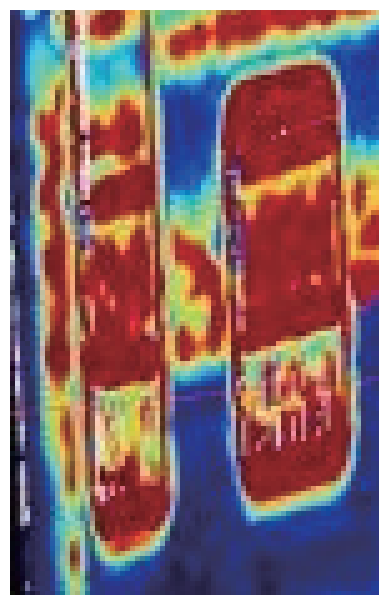
果如图8b所示，其中右图中红色反射率100%，代表两层铝合金之间的间隙或空腔；蓝色区域是焊接良好的区域，中间过渡颜色区域表示焊接质量参考色差。通过与焊接面对比，可明显发现焊接接触面的钎料填充较好，钎缝致密，无较大区域出现漏焊、熔蚀等缺陷。

4. 结语

(1) 经试验确定，6063铝合金在固相线温度下较高温长时间保温会造成母材的完全熔化。



(a) 焊接接触面



(b) 焊缝界面幅值成像图

图8 焊接表面及超声C扫描焊缝界面幅值成像图

(2) 随温度梯度的增加，焊接母材熔蚀逐渐减少，焊接质量不断提高。

(3) 6063铝合金母材，4004钎料，在400℃、500℃、570℃保温，600℃焊接，可获得气密性达1.5MPa且无明显焊接缺陷的密封腔体。

作者简介：周运海，安徽博微长安电子有限公司。

MW 20170724