

铝合金管高频钎焊工艺性应用分析

薛刚飞¹ 程浩² 刘龙飞³ 张伟⁴

陕西万方汽车零部件有限公司 陕西 西安 710200

摘要: 本文分析了铝合金的应用及高频钎焊的特性, 经过前期试验、调整, 确定了焊接材料、设备及过程参数, 通过焊接试验并对试样焊缝进行分析, 验证了薄壁铝合金管高频钎焊的工艺可行性, 同时对薄壁铝合金管高频钎焊焊接过程应注意的问题进行了简单的分析、论述。

关键词: 铝合金 高频钎焊 薄壁铝合金管

前言:

铝及铝合金密度较小, 仅 $2.7\text{g}/\text{cm}^3 \sim 2.82\text{g}/\text{cm}^3$, 约为钢铁密度的 $1/3$, 具有良好的延展性、耐蚀性、散热性、抗冲击性, 且有无需涂层、易成型等特点。在汽车车身覆盖件、轮毂、空调系统、发动机系统中均有较多的应用。而6系铝合金作为一种Al-Mg-Si系变形铝合金, 具备良好的强度及耐腐蚀性, 广泛应用于制造汽车管路件及阀门^[1]。目前在同类零部件组装及生产过程中, 高频钎焊是一种比较重要的焊接方式。

高频钎焊具有能量密度高、加热速度快、环保、安全的特点, 能大幅提高生产效率, 且容易实现自动化。鉴于本企业的产品特点及生产节奏, 有必要对薄壁铝合金管高频钎焊的焊接工艺性进行验证及分析。

1 高频钎焊的原理和应用

在高频机内有一整套独特的电子线路, 它可使从电网输入的低频交流电转变成高频交流电, 高频电流加到电感线圈后, 利用电磁感应原理转换成高频磁场, 并作用在处于磁场中的金属物体上, 然后在金属物体中生成与磁场强度成正比的感生涡流, 频率越高, 则涡流越集中在金属物体的表层。涡流在金属物体内部流动时, 会借助于其内部所固有的电阻值, 利用电流热效应原理生成热量。它的加热速度快、效率高, 可瞬间熔化几乎任何金属物, 而且加热速度和温度可控。

高频钎焊的使用范围非常广泛, 主要有热处理、热锻热成型、金属熔炼、焊接等, 比如各种金属制品的钎焊、各种硬质合金刀具的焊接、钢管铜管的焊接、同种及异种金属焊接等, 也适用于本企业薄壁铝合金管类零部件的焊接。

2 薄壁铝合金管高频钎焊工艺性试验过程

2.1 试验材料制备

2.1.1 焊接材料

(1) 薄壁铝合金管

6系铝合金里面常用用来钎焊的的型号是6061和

6063, 6061含 $0.8 \sim 1.2\%$ 的镁、 $0.4 \sim 0.8\%$ 的硅, 6063含 $0.45 \sim 0.9\%$ 的镁、 $0.2 \sim 0.6\%$ 的硅, 6061是经过热处理拉伸工艺处理后的型材, 具有较强加工性、优良钎焊性、良好的腐蚀性和韧性, 且抗氧化效果好, 广泛应用在汽车、船、家具、航空航天等方面。

所以本次试验选取6061薄壁铝合金管(成分符合GB/T 3190-2020):

管GB/T 4437.1-6061 T4- $15 \times 1.5 \times 4000$ L = 300

化学成分(质量分数%): Mn0.15、Si0.4、Mg0.9、Fe0.7、Al余量, 母材抗拉强度180MPa、规定非比例延伸强度110 MPa、断后伸长率16%。

(2) 管接头

管接头采用同系列铝合金材质, 化学成分(质量分数%): Mn0.1、Si0.41、Mg0.68、Fe0.58、Al余量。

2.1.2 钎料

6061铝合金固相线为 582°C , 因此本次试验选用的是熔点约 $370 \sim 450^\circ\text{C}$ 的高温软钎料, 牌号Zn-5Al、丝状, 其具备润湿性、耐蚀性、强度较高的特点^[2]。

2.1.3 钎剂

本次试验选用钎剂为铝钎剂, 牌号F-01, 密度 $0.87\text{g}/\text{cm}^3$

2.2 试验设备

本次试验选用设备高频焊机的型号为GPH-40

2.3 试验过程

2.3.1 焊接接头型式: 搭接

将表面清洁好的管接头和薄壁铝合金管以搭接型式装配在一起, 如图1所示:

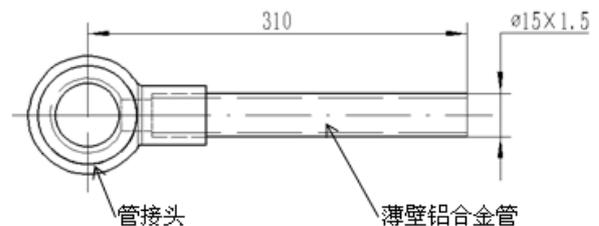


图1

2.3.2 设备参数

设备电压380V、频率50Hz、震荡功率40KVA、感应线圈环形结构、焊环内径45mm、线圈匝数3匝

2.3.3 焊接过程

将丝状钎料置于焊接接头间隙处，当工件与钎料被高频焊机加热到稍高于钎料熔点温度后、施以钎剂，钎料熔化、工件未熔化，借助毛细作用，钎料被吸入并充满固态工件间隙之间，液态钎料与工件金属相互扩散溶解，冷疑后形成钎焊接头^[3]，然后清理干净钎剂残渣。

3 焊接接头焊缝分析

3.1 塑性分析

按照GB/T 2653-2008《焊接接头弯曲试验方法》，焊缝位于与作用力相垂直的半径平面内，向试样缓慢施加集中载荷，试验过程中接头焊缝位置均未出现裂纹及其它焊接缺陷，接头区域的焊接塑性形良好。

3.2 组织分析

焊缝规整饱满、焊接位置共晶组织紧密、细小、均

匀，焊缝融合良好，如图2所示。此焊接过程稳定、可控。

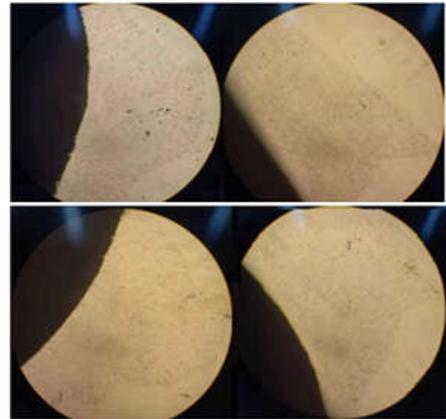


图2 熔合图

3.3 抗拉强度

按照GB/T 11363-2008《钎焊接头强度试验方法》，制备焊接接头焊缝拉伸试样，进行抗拉强度试验，试样抗拉强度如表1所示。

表1

试样规格	批次号	试验值 (N)	备注	附图
Φ15*1.5	1-1	10230	焊缝开裂	
	1-2	10190	焊缝开裂	
	1-3	8825	焊缝无开裂	

对标Q/SQ 102081《镀锌精密钢管类零部件技术条件》，钢管产品卡套结构装配后焊接，试验拔脱力大于标准中要求的整车回油钢管卡套螺母结构最小拔脱力。因此焊接接头焊缝部位强度符合回油钢管连接强度要求。

3.4 气密性

在焊接接头内充入液压油（VG32），持续加压至25MPa，保压3min，焊缝处无渗漏，气密性合格。

3.5 爆破性试验



图3 爆破试验

爆破性试验装置如上图3所示，压力测算数值如下：

$$P = 2St / (D - 0.8t)$$

式中：P为实验压力（MPa）、t为壁厚（mm）、D为管子外径（mm）、S为材料的许用应力（MPa）。

本次试验中：D = 15mm，t = 1.5mm，S = 46MPa，利用上式计算，得出标准爆破压力值为10MPa。通过对10件

试样用爆破压力上限25MPa（2.5P）进行试验，管子无开裂、接头脱落等现象，此焊接接头爆破性能要求合格。

4 结论及分析论述

4.1 通过此焊接过程试验及焊缝分析结果，证明薄壁铝合金管高频钎焊焊接工艺的可行性，可在我公司同类零部件生产中予以应用、推广，以期能提能增效、逐步实现自动化生产。

4.2 分析论述

感应圈是感应钎焊设备的重要器件，正确设计和选用感应圈，直接影响焊接时间、焊接组织结构。感应钎焊时往往需要一些辅助工具来夹持和定位焊件，在设计夹具时应注意，与感应圈邻近的夹具零件应避免使用金属，以免被感应加热。

焊接前表面清理，直接影响焊接一次性成功效果，因铝管熔点较低，第二次再加热时，铝管极易变形。因此焊接时间不能过长，时间过长容易导致铝合金管管壁融化或变薄，承压后极易泄露。钎焊过程是靠毛细作用使钎料填满工件焊缝间隙的，这个间隙的大小在很大程度上影响钎焊的致密性和接头强度。如果间隙过小，由

于接触表面不均匀,钎料流入困难,易焊钎缝内形成夹渣和未焊透,导致接头强度下降现象;工件焊缝间隙过大,则毛细作用减弱,钎料不能填满间隙,也会使接头的致密度下降,导致焊缝强度下降,只有确保合理的工件焊缝间隙,才能使毛细作用顺利进行,从而获得最佳施焊效果。在钎焊加热过程中,钎料熔融后与母材相互扩散形成过渡层。过渡层的厚度和结构决定了钎缝的强度。材料越薄,受热越均匀,则钎料熔融后与母材相互扩散越快,过渡层越致密,因此抗拉强度越高。

参考文献:

- [1] 戴玮,薛松柏,蒋士芹,姜继源,姜银斌,王水庆.铝合金中温钎焊接头组织与性能.[J]焊接学报.2012, 33(06):105-108+118.
- [2] 周飞.铝合金钎焊材料及工艺研究.工程科技 I 辑,金属学及金属工艺 TG425 2014年.
- [3] 刘剑锋,廖友辉,黄暮秋.高频钎焊机 [P].2015,32(1): 51-53.