

# 铝共晶接触反应钎焊界面形成 及腐蚀机理研究\*

徐德生 邱小明 孙大谦 吴山力

(吉林工业大学)

**摘要** 用电子探针和扫描电镜研究了铝共晶接触反应钎焊时钎缝界面的形成及其抗电化学腐蚀性能。试验结果表明,在Al-Zn共晶接触反应钎焊钎缝中加入Cu可有效地破坏母材Al表面的氧化膜,避免Zn对Al的溶蚀,并形成润湿性良好的Al-Zn-Cu共晶反应钎缝;钎缝的腐蚀过程是沿晶界进行的。

**关键词** 铝 钎焊 电化学腐蚀 共晶反应

铝导热性能优良、比重轻、价格低,在生产中应用愈来愈广,用铝代替铜是目前国内外的主要发展趋势<sup>[1]</sup>。铝及铝合金与其它金属相比钎焊比较困难。铝合金硬钎焊时,由于钎料的熔点同铝及铝合金的熔点相差不大,因而钎焊质量难以控制;铝及铝合金软钎焊时,由于钎料和母材之间电极电位相差悬殊,给钎缝的抗腐蚀性能带来不利影响。铝合金钎焊问题一直影响着铝及铝合金在工业生产中的应用。

共晶接触反应钎焊是利用异种金属形成共晶的特点,在界面接触良好的条件下加热到共晶温度以上,依靠金属间的相互扩散,在界面处形成共晶体作为钎料把金属钎焊起来的方法。此种钎焊温度低,不用钎剂且钎缝再熔化温度高,近年来引起了广泛重视,是一个飞速发展的新钎焊方法。铝和许多金属可以形成共晶,利用铝的共晶接触反应钎焊可以在较低的钎焊温度下获得优质的钎缝,是非常有开拓前景的方法。铝共晶接触反应钎焊的主要问题是钎缝界面形成及电学腐蚀问题,对此进行研究对促进铝共晶接触反应钎焊的实际生产应用意义十分重大。

## 1 试验方法

试验用的母材为工业纯Al,有两种规格:25 mm × 10 mm × 1 mm 和 25 mm × 10 mm × 3 mm。中间共晶反应层分别选用:Ag、Ni、Si、Zn、Cu、Ti;钎焊前所有试验材料都进行化学去除氧化膜。

全部钎焊试验是在石英管中的高频感应加热炉中进行的。为了防止试件在加热过程中氧化,在石英管内通入纯度为99.99%的氩气。试件放在圆形高纯石墨套中加热,以保证加

收稿日期:1997-12-30 1998-07-20 修订

\* 吉林省科委和机械部教育司发展基金资助项目(95AJ0102)

徐德生,工学硕士,讲师,长春市人民大街142号 吉林工业大学焊接教研室,130025

热均匀和准确控制加热温度。接触反应钎焊时,对钎焊接头施加一定的压力,确保母材与反应层接触良好,有利于共晶接触反应熔化的进行;同时,加压又可使形成的液相从间隙内挤出,有利于提高接头质量。钎焊温度为共晶温度+10。

## 2 结果讨论

### 2.1 钎缝的形成

Al可以和许多金属形成共晶,但是由于各自的原因,或者是共晶温度高,或者是形成的共晶液相比较脆,因而,很难获得优质的钎焊接头。Al和Zn形成共晶,共晶温度为382,且Al-Zn在很大范围内生成固溶体,因此,Al-Zn特别适合共晶接触反应钎焊。但在实际钎焊时发现,只用Zn作共晶反应层,不能实现共晶接触反应钎焊。形成的液相不润湿母材,而是被挤出接头外部形成钎料珠。对母材Al表面进行扫描电镜和X射线衍射分析,发现Al表面已经滋生出一层致密的氧化膜,因此要实现Al-Zn共晶接触反应钎焊,必须破坏Al表面的氧化膜。

考察Al和其它金属的共晶接触反应钎焊,Al-Cu是最易进行共晶接触反应的<sup>[2]</sup>,且Al-Zn-Cu可形成三元共晶。在Al和Zn之间夹一很薄的铜箔便可实现Al-Zn-Cu共晶接触反应钎焊。此时,形成的共晶液相不但润湿母材Al,并可在接头处形成很好的钎焊圆角,如图1示。

### 2.2 界面分析

图2为Al-Zn-Cu共晶接触反应钎焊的界面照片。钎缝由连续分布的黑块区和弥散区组成,为典型的共晶组织。利用电镜对贯穿整个钎缝含锌量进行的线扫描表明,锌的含量分布极不均匀,特别是在靠近母材处急剧减少。这说明钎缝组织并非通常的一次结晶形成的。实际上,未钎焊前在接头部位存在两种类型的界面,即Al-Cu界面和Al-Cu与Zn界面。试验表明,该两种界面都可以较容易地实现共晶反应,只是所需要的最低温度不同。可以通过如下几个阶段来描述钎缝界面形成过程。

第一阶段:在400左右,Cu优先沿Al表面晶界扩散和富集(图3)。

第二阶段:在420~548以内,Zn熔化;Cu沿Al表面晶界扩散加快,在加热至530左右,Al表面氧化膜开始龟裂,在548,扩散达到Al-Cu共晶成份后,便会发生共晶反应,形成共晶液相。随着共晶液相的不断增多、推移,在表面张力和界面张力的作用下,就会把浮在其上的氧化膜抬起、推移并破碎。此时,试验中看到,Zn开始向Al-Cu共晶液相中溶解,在铝的整个钎缝表面润湿铺展。

第三阶段:经过一段时间,随着Cu的扩散溶解,在Al表面形成的Al-Cu共晶液相逐渐与第二阶段形成的液相Zn汇合溶解,形成Al-Zn-Cu共晶液相界面,铺展于母材Al的表面。

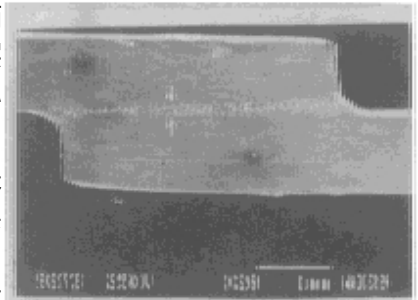


图1 共晶反应接头

Fig. 1 Eutectic reaction joint



图2 钎缝界面

Fig. 2 Brazed seam interface

由此可见,难以实现的Al-Zn共晶反应钎焊在加入Cu过渡层后得以顺利实现。这里Cu的主要作用是破坏铝表面的氧化膜,使共晶反应液相在整个界面润湿,Zn也在整个界面进行冶金反应,避免了Zn对Al的溶蚀,形成Al-Zn-Cu共晶反应液相钎缝。

### 2.3 钎缝界面腐蚀

共晶接触反应钎焊时,由于共晶反应层与母材的成份和性能截然不同,其电极电位不同,所形成的共晶体的电极电位也不同。在接头中相互接触时,如果有电解质存在,在钎料-母材界面处就会形成微电池,使接头发生电化学腐蚀,电极电位低的金属或合金作为阳极将被腐蚀掉。表1为所测出的几种金属及铝共晶系统的电极电位。由此可以分析钎缝界面的腐蚀情况。

由表1结果可知,用Cu-Zn作夹层钎焊时,母材与共晶体的电极电位相差不大,优于用Cu作中间反应层的Al-Cu共晶接触反应钎焊的抗电化学腐蚀性能<sup>[3]</sup>。试验结果表明,随着Cu箔的加厚,接头的抗电化学腐蚀性能下降,腐蚀优先沿母材Al晶界富Cu区进行的,如图4所示,钎缝及共晶体晶界腐蚀较严重。按Cu与Al及Al-Zn-Cu共晶系统的电极电位分析,Cu的电极电位最高,发生电化学腐蚀时应腐蚀Al及共晶体,而非富集Cu的晶界。这种情况可按Dowd J. D.的说法解释<sup>[4]</sup>,认为电极电位出现反常,即在晶界处出现了比铝及共晶体更负的电极电位,致使界面处产生强烈腐蚀。

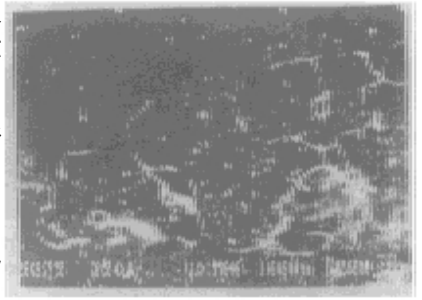


图3 Cu沿Al表面晶界扩散与分布  
Fig. 3 Cu diffusion and distribution along the interface of the Al surface

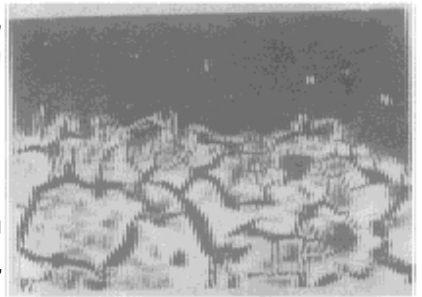


图4 腐蚀的界面  
Fig. 4 Corroded interface

表1 几种金属及铝共晶反应层的电极电位

Tab. 1 Electrode potential of some metals and Al eutectic reaction layers

金属或共晶系	Al	Zn	Cu	Al-Zn	Al-Cu	Al-Zn-Cu
电极电位/V	-0.83	-1.10	-0.20	-0.78	-0.49	-0.70

## 3 结论

- 1) 铝共晶接触反应钎焊时,在铝锌之间加入铜可有效地破坏铝表面的氧化膜,避免锌对铝的溶蚀,使锌在整个钎缝界面铺展,并可形成优质的Al-Zn-Cu共晶反应钎缝界面。
- 2) Al-Zn-Cu共晶接触反应钎焊的抗电化学腐蚀性能优于Al-Cu共晶接触反应钎焊,其腐蚀是沿钎缝晶界富Cu区进行的。

### 参 考 文 献

- 1 陈定华,钱乙余,黄继华 Al/Cu接触反应钎焊中反应铺展现象和氧化膜行为 金属学报,1989,25(1):42~47
- 2 邱小明等 Al-Al接头共晶接触反应钎焊的研究 汽车工程,1996,18(2):120~123

3 Dowd J D. Soldering of aluminum. Weld J, 1954, 33(3): 66~ 68

## Investigation on Formation and Corrosion of the Interface in Aluminum Eutectic Reaction Brazing

Xu Desheng Qiu Xiaoming Sun Daqian Wu Shanli

(Jilin University of Technology, Changchun)

**Abstract** In this paper, some problems about the formation of the brazed seam interface and its electrochemical corrosion resistance properties were investigated by using a scanning electron microscope and an electron probe. The results showed that, if only using Zn as the layer in Al eutectic reaction brazing, the eutectic liquid phase can not make the parent metal wet and can not form a good brazed seam interface and that Zn can cause erosion to Al. It also showed that, if adding Cu between Al and Zn, Cu can take priority of gathering and diffusing in the surface crystal boundary of the parent metal and take the eutectic reaction with Al to form an Al-Cu eutectic liquid phase. Furthermore the Al-Cu eutectic liquid phase can make the surface Al oxide film rise, move, break and wet, spread on the all brazed seam surface, then Zn can be dissolved into the Al-Cu eutectic liquid phase and the Al-Zn-Cu eutectic liquid phase interface can be gradually formed and wetted, spread on the all Al brazed seam surface as the temperature increases and the time passes. Adding Cu between Al and Zn can effectively destroy the Al oxide film on the parent metal, prevent Zn from corroding Al, make Zn wet and spread on all brazed seam surface and form a good Al-Zn-Cu eutectic reaction brazed seam surface. While used Cu-Zn as the layer, the difference of the electrode potentials between the formed Al-Zn-Cu eutectic and the parent metal is small. The electrochemical corrosion resistance properties by using Cu-Zn as the layer are better than those by using Cu. As the Cu content increases, the electrochemical corrosion resistance properties decrease. The corrosion can take place firstly in the rich Cu zone along the Al crystal boundary in the parent metal.

**Key words** aluminum, brazing, interface, electrochemical corrosion, eutectic reaction