

[文章编号] 1004- 0609(2002)02- 0323- 04

复合层对 Al 接触反应钎焊过程及接头性能的影响^①

殷世强, 邱小明, 孙大谦

(吉林大学 材料科学与工程学院, 长春 130025)

[摘要] 研究了 Cu, Zn 复合层对 Al 接触反应钎焊过程和接头质量的影响规律。Cu 和 Al 形成共晶液相破坏了 Al 表面氧化膜, 促使 Cu-Zn 包晶液相和 Al-Zn-Cu 共晶液相在 Al 表面润湿。结果表明, 采用复合层进行 Al 接触共晶反应钎焊时, Cu 和 Zn 厚度比例合适, 可提高钎焊接头的抗电化学腐蚀性能和接头强度。

[关键词] Al 钎焊; 共晶反应, 复合层

[中图分类号] TG 425

[文献标识码] A

铝及铝合金由于具有导热性好、密度小、抗腐蚀性强、价低等优点, 近年来在生产中的应用日趋广泛^[1~3]。因此, 研究开发铝及铝合金钎焊新方法、新材料、新技术将会带来相当大的经济和社会效益。

接触共晶反应钎焊是利用某些异种金属能形成共晶的特点, 在界面接触良好且加热至高于共晶温度的条件下, 依靠金属原子间的互扩散在界面处形成共晶反应层作为钎料把金属钎焊起来的方法。此种钎焊方法的焊接温度低, 但钎缝再熔化温度高, 且不用钎剂, 近年来引起了广泛重视^[4~6]。铝和许多金属可以形成共晶, 目前已经开展了 Cu, Ni, Ag, Zn 等单层的 Al 接触共晶反应钎焊过程和机理研究。Cu 和 Zn 作共晶反应层进行 Al 接触共晶反应钎焊是较合适的。Cu 作为共晶反应层有破除氧化膜, 促进共晶液相润湿铺展的作用, 但接头的抗电化学腐蚀性能较差, 且共晶反应层较脆; Zn 作为共晶反应层可明显提高接头的抗电化学腐蚀性能, 且 Al 中可以溶解大量 Zn, Al 和 Zn 形成有限固溶体对钎焊接头的性能有利, 但其无破除氧化膜, 促进共晶液相润湿铺展的作用^[7~9]。作者利用 Cu, Zn 的优点, 用 Cu 和 Zn 作为复合反应层, 探讨复合层对 Al 接触共晶反应钎焊过程及接头质量的影响规律。

1 实验

实验用母材为工业纯 Al, 规格是 25 mm × 10

mm × 3 mm。实验中选取以纯 Cu 和纯 Zn 复合作为共晶反应层和 Al 进行接触共晶反应钎焊。根据实验要求, 将 Zn 制成 0.20 mm, Cu 分别制成 0.20 mm, 0.15 mm, 0.10 mm, 0.05 mm 和 0.03 mm 的箔片。钎焊前所有材料都进行化学处理去除氧化膜。

将处理过的 Zn 箔和 Cu 箔夹于两个 Al 试件间, 如图 1 所示, 放入特制的气体保护钎焊加热炉中, 并对钎焊接头施加一定的压力, 在纯度为 99.99% 氩气保护条件下, 将试件加热至 560 °C, 保温 5 min。钎焊后, 试件放在 0.1% H₂SO₄ 水溶液中保持 150 h, 然后制成金相样品。通过焊态和腐蚀后的接头强度变化来评定接头的抗电化学腐蚀性能。接头强度实验是按 GB89-11363 方法进行的。

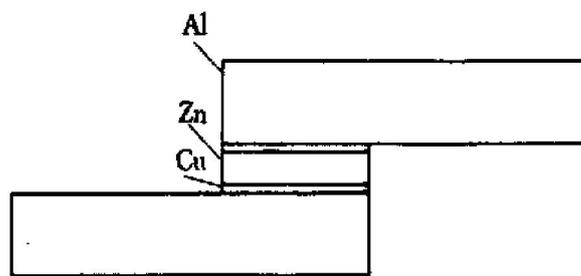


图 1 复合层示意图

Fig. 1 Schematic of compound layer

2 结果与讨论

2.1 Al 复合层接触共晶反应钎焊过程

采用复合层进行 Al 接触共晶反应钎焊, 其共

① [基金项目] 吉林省科技发展基金资助项目(960909)

[收稿日期] 2001- 06- 04; [修订日期] 2001- 08- 20

[作者简介] 殷世强(1956-), 男, 工程师。

晶反应层的形成较单层时要复杂得多。Zn 在 419 °C 熔化，在 424 °C 与 Cu 发生包晶反应，Cu 和 Al 在 548 °C 发生共晶反应^[10]，反应层的形成是上述反应的复合过程，和单层 Al 接触共晶反应钎焊比较，也可分为 3 个阶段^[11, 12]。

第 1 阶段：复合层(Zn/Cu)之间及与 Al 母材间的扩散溶解。从微观角度考虑，Zn/Cu 和 Cu/Al 界面的接触是点接触。加热过程中，在力和热扰动的作用下接触点处发生塑性流动，原子互扩散优先在该处进行。随着温度的升高，原子的互扩散能力增强，其驱动力为成分浓度差，扩散速度取决于原子在固相中的扩散系数(D_s)。当温度达到约 420 °C 时，Zn 熔化，在 424 °C 发生包晶反应产生液相，两种液相混合润湿 Cu 表面并促进 Cu 向液相的溶解。同时，在 Cu/Al 界面处，存在着固相原子的互扩散，Cu 优先沿着 Al 表面晶界扩散，并随着温度的升高，扩散速度及扩散量增加(如图 2 所示)。当温度高于 548 °C 时，在 Cu/Al 界面处发生共晶反应，首先在晶界处形成液相，所形成的微薄共晶液相沿氧化膜下 Al 表面扩散，将 Al 表面氧化膜浮起，有

效地破坏了 Al 表面氧化膜。此时，形成的 Cu-Al 共晶液相与原有的液相相互溶解扩散，将氧化膜浮起、破碎，液相混合在一起，在 Al 表面润湿铺展。

第 2 阶段：液态反应层的均匀化。由于第 1 阶段反应生成的液相与固相母材 Al 之间的成分是不均匀的，液相中的 Cu 和 Zn 原子向母材 Al 中扩散，固相母材 Al 原子向液相溶解扩散，使液相层的宽度增加，该过程主要受控于原子在固相中的扩散系数(D_s)。与此同时，液相成分通过扩散也经历着均匀化过程，其均匀化速度主要受控于原子在液相中的扩散系数(D_L)。

第 3 阶段：液态反应层的等温凝固。随着固/液界面附近固相 Al 中 Cu, Zn 原子向深处进一步扩散，使液相中 Cu, Zn 原子浓度降低，熔点升高，在液/固界面处结晶，直至反应层完全结晶成固相，最后形成钎缝(如图 3 所示)。

由此可见，采用 Cu 和 Zn 复合层进行 Al 接触共晶反应钎焊，Cu 的主要作用是破除氧化膜，促进液相在 Al 表面润湿。因此，采用适当的 Cu 和 Zn 含量比对提高接头质量十分重要。

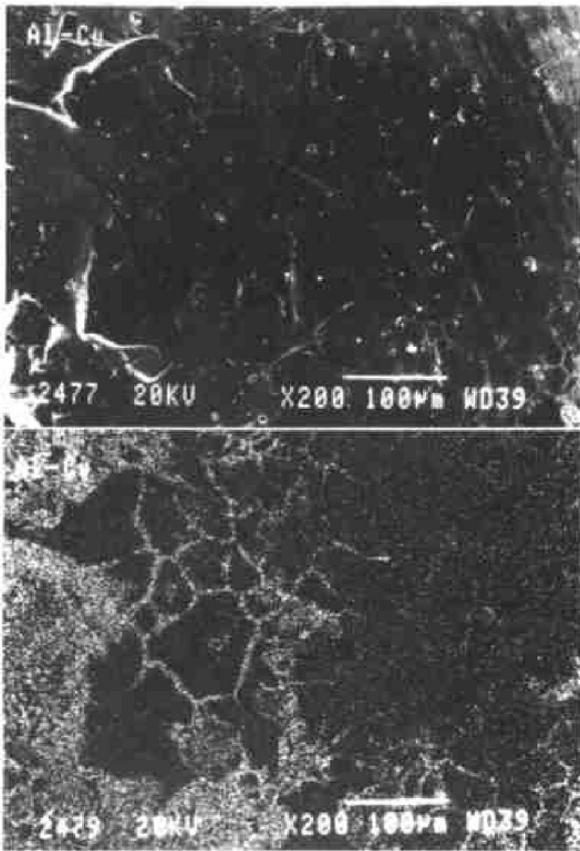


图 2 Cu-Al 接触共晶反应钎焊中 Cu 沿 Al 晶界扩散形貌(a) 和 Cu 的面扫描图(b)

Fig. 2 Morphology of Cu diffusion along Al grain boundary (a) and surface scanning image of Cu (b) in Cu-Al eutectic reaction brazing

2.2 复合层对接头电化学腐蚀和强度的影响

Al 接触共晶反应钎焊时，由于共晶反应层与母材的成分和性能截然不同，其电极电位也就不同，在共晶反应层—母材 Al 界面处(钎缝区)将形成微电池，使接头发生电化学腐蚀，电极电位低的合金作为阳极将被腐蚀掉。很显然，共晶反应层成分、性能和含量对接头的抗电化学腐蚀有着重要的影响。表 1 所列是测得的几种金属及铝共晶反应层的电极电位。由表 1 可见，Cu 箔厚度对接头的抗电化学腐蚀起决定性作用。

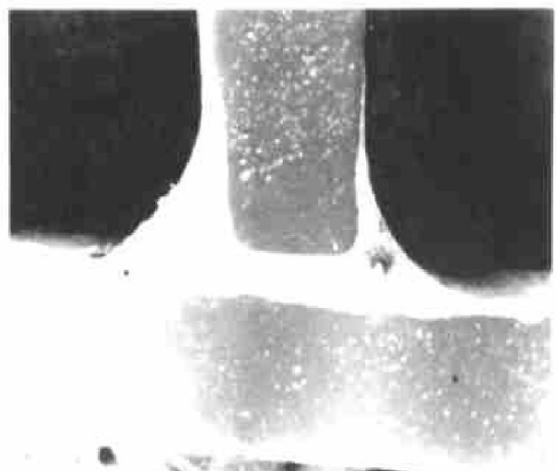


图 3 接触共晶反应钎焊接头形貌

Fig. 3 Morphology of eutectic reaction brazing joint

表 1 几种金属及铝共晶反应层的电极电位

Table 1 Electrode potential of some metals and Al eutectic reaction layers

Metals and eutectic system	Electrode potential/ V
Al	- 0. 83
Zn	- 1. 10
Cu	- 0. 20
AlZn	- 0. 78
AlCu	- 0. 49
AlZrCu	- 0. 70

随着 Cu 箔厚度增加, Cu 含量增加, 共晶反应层与母材 Al 电极电位差增大, 从而降低接头抗电化学腐蚀性能, 母材 Al 被腐蚀掉。因此, 采用复合层进行 Al 接触共晶反应钎焊时, Cu 和 Zn 厚度比例合适时, 可获得较高抗电化学腐蚀的 Al 接触共晶反应钎焊接头(强度见表 2)。当 $\delta(\text{Cu}) = 0.05 \text{ mm}$, $\delta(\text{Zn}) = 0.20 \text{ mm}$ (即共晶反应层合金成分为 67%~ 82% Al, 13%~ 26% Zn, 4%~ 6% Zn)时, 焊态下接头的抗剪切强度可达 55~ 61 MPa, 接头在腐蚀性介质中放置 150 h 后, 其剪切强度仍可达 48~ 55 MPa。

表 2 Al 接触共晶反应钎焊接头强度

Table 2 Joint strength of Al eutectic reaction brazing

Thickness of Cu foil, δ/mm	Shearing strength in welding, τ/MPa	Shearing strength in corrosion, τ/MPa
0.03	47~ 53	36~ 40
0.05	50~ 61	48~ 55
0.10	44~ 53	34~ 43
0.15	44~ 52	27~ 31
0.20	38~ 47	12~ 20

复合层 Cu 和 Zn 厚度比除影响接头的抗电化学腐蚀性能外, 还影响焊态下的接头抗剪切强度。由表 2 可见, Cu 片厚度在 0.03~ 0.10 mm 范围内, 接头具有较高的抗剪切强度, 断口具有明显的韧性断裂特征(如图 4 所示), 经 180 °C 弯曲实验, 接头处无裂纹出现。Cu 片厚度的影响实质上是共晶反应层中 Cu 含量的影响。Cu 箔较厚($\delta > 0.15 \text{ mm}$)时, 共晶反应层中 Cu 含量较高, 更多的 CuAl_2 化合物沉淀于晶界, 提高了反应层的脆性和硬度(如图 5 所示), 降低接头的抗剪切强度。

3 结论

1) 采用 Cu 和 Zn 复合层进行 Al 接触共晶反应

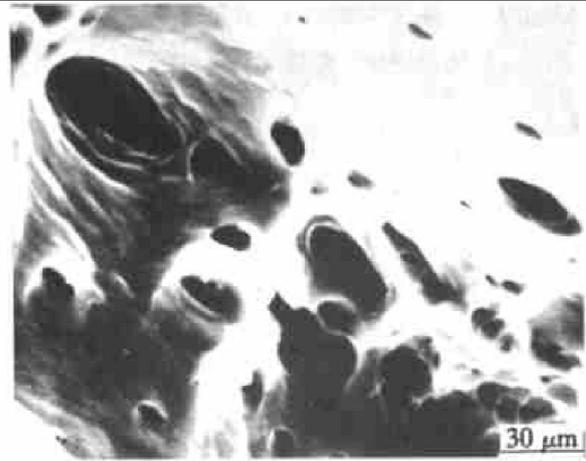


图 4 接触共晶反应钎焊接头断口形貌

Fig. 4 Fracture morphology of eutectic reaction brazing joint

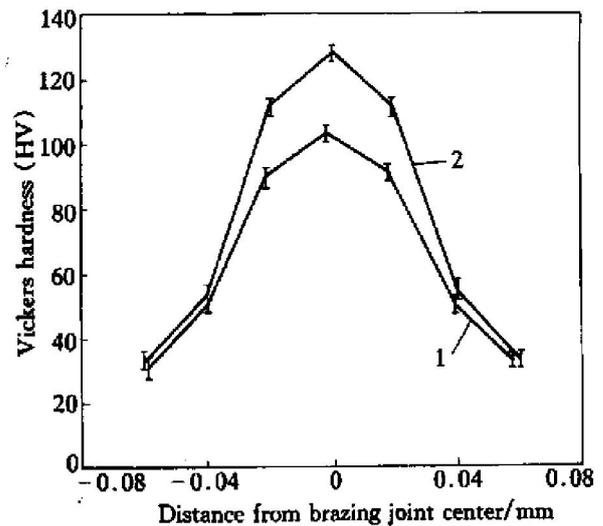


图 5 Cu 片厚度对共晶反应层硬度的影响

Fig. 5 Effect of Cu foil thickness on hardness of eutectic reaction layer

1 — $\delta(\text{Cu}) = 0.05 \text{ mm}$; $\delta(\text{Zn}) = 0.20 \text{ mm}$;
2 — $\delta(\text{Cu}) = 0.10 \text{ mm}$; $\delta(\text{Zn}) = 0.20 \text{ mm}$

钎焊, Cu/Zn 界面发生包晶反应, Cu/Al 界面发生共晶反应, 并形成共晶液相, 所形成的微薄共晶液相沿氧化膜下 Al 表面扩散, 破坏了 Al 表面氧化膜。

2) 采用 Cu 和 Zn 复合层进行 Al 接触共晶反应钎焊, Cu 和 Zn 含量合适时($\delta(\text{Zn}) = 0.2 \text{ mm}$, $\delta(\text{Cu}) < 0.1 \text{ mm}$), 反应层不仅具有破除氧化膜的作用, 同时接头具有较强抗电化学腐蚀性能和较高的抗剪切强度。

[REFERENCES]

[1] Miura F, Suzuki K. A new chemical process for forming a non-corrosive flux coating for aluminum brazing [J]. SAE Paper, 1987, 870183: 1655- 1670.
[2] Terrill J R. Brazing aluminum in dry air atmosphere [J].

- Metal Progress, 1969, 10: 70– 73.
- [3] 美国焊接协会主编. 曹雄飞译. 钎焊手册 [M]. 北京: 国防出版社, 1982.
American welding society committee on brazing and soldering. CAO Xiong-fei Tr. Brazing Manual [M]. Beijing: National Defence Press, 1982.
- [4] 陈定华, 钱乙余. Al/Cu 接触反应钎焊中反应铺展现象和氧化膜行为 [J]. 金属学报, 1989, 25(1): 42– 47.
CHEN Ding-hua, QIAN Yi-yu. Wetting phenomenon and oxide film behavior of Al/Cu contacting reaction brazing [J]. Acta Metallurgica Sinica, 1989, 25(1): 42– 47.
- [5] YI Yun-chen, QIU Xiaoming, WANG Hong-ying. Research on the welding behavior of the liquid phase of eutectic reaction [J]. China Welding, 1992, 1(1): 75– 82.
- [6] 邱小明, 殷世强, 孙大谦. Al 共晶接触反应钎焊热力学分析 [J]. 中国有色金属学报, 2001, 11(6): 1017– 1020.
QIU Xiaoming, YIN Shir-qiang, SUN Da-qian. Thermodynamical analysis on Al eutectic reaction brazing [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2001, 11(6): 1017– 1020.
- [7] 徐德生, 邱小明. 铝共晶接触反应钎焊界面形成及腐蚀机理研究 [J]. 农业工程学报, 1998, 14(3): 59– 63.
XU De-sheng, QIU Xiaoming. Investigation on formation and corrosion of the interface in aluminum eutectic reaction brazing [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1998, 14(3): 59– 63.
- [8] 邱小明, 易蕴琛. Al-Al 接头共晶接触反应钎焊的研究 [J]. 汽车工程, 1996, 18(2): 120– 124.
QIU Xiaoming, YI Yun-chen. Research on eutectic reaction brazing of Al-Al joint [J]. Automotive Engineering, 1996, 18(2): 120– 124.
- [9] 徐德生, 殷世强. Al 共晶反应钎焊缺陷分析 [J]. 汽车工艺材料, 1999, 10: 24– 26.
XU De-sheng, YIN Shir-qiang. Investigation on the defects in aluminum eutectic reaction brazing [J]. Automobile Technology and Material, 1999, 10: 24– 26.
- [10] 虞觉奇, 易文质. 二元合金相图集 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987.
YU Jue-qi, YI Wen-zhi. Constitution Collections of Binary Alloys [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technique Press, 1987.
- [11] 邱小明, 孙大谦, 殷世强. Al 接触共晶反应钎焊接头形成过程和机理 [J]. 机械工程学报, 2001, 37(4): 53– 56.
QIU Xiaoming, SUN Da-qian, YIN Shir-qiang. Process and mechanism of Al eutectic contacting reaction brazing [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2001, 37(4): 53– 56.
- [12] Isaac T, Dolla M. A study of the transient liquid phase bonding process applied to a Ag/Cu/Ag sandwich joint [J]. Metallurgical Transactions A, 1988, 19A(3): 675– 686.

Effect of compound layer on process and joint properties of Al contact eutectic reaction brazing

YIN Shir-qiang, QIU Xiaoming, SUN Da-qian
(School of Materials Science and Engineering, Jilin University,
Changchun 130025, China)

[Abstract] The effects of Cu-Zn compound layer on the process and joint properties of the Al contacting eutectic reaction brazing were studied. Cu-Al eutectic liquid phase can effectively destroy the Al oxide film on the parent metal, and Cu-Zn liquid phase and Al-Zn-Cu eutectic liquid phase can wet in the surface of the Al parent metal. The results show that, in Al contacting eutectic reaction brazing with Cu-Zn as compound layer, when the thickness proportion of Zn to Cu is appropriate, the electrochemical corrosion resistance and strength of the joint can be improved.

[Key words] aluminium brazing; eutectic reaction; compound layer

(编辑 杨兵)