

文章编号:1673-9981(2011)01-0053-04

粉状铝基钎料的钎焊性能研究

蔡志红, 刘宏江, 陈 平, 贺军四

(广东省工业技术研究院(广州有色金属研究院), 广东 广州 510650)

摘 要:介绍了粉状铝基钎料的制备方法,探讨了以粉状铝基钎料为焊料,钎焊铝材的工艺性能.从表面张力的角度出发,讨论了粉末粒度对铝材钎焊工艺和性能的影响.结果表明:采用粒度在 150~180 μm 的粉状铝基钎料钎焊铝材,其焊件的剪切强度较高;采用粒度大于 300 μm 的粗钎料或粒度小于 150 μm 的细钎料钎焊铝材,其剪切强度较低.粉状铝基钎料的氧含量随粒度的减小而增加;用细粉(粒度小于 28 μm)占 3%(质量分数)的粉状铝基钎料钎焊时,钎料的铺展面积与无细粉时的铺展面积相当.

关键词:粉状铝基钎料; 钎剂; 铝钎焊; 表面张力

中图分类号: TF123.2 **文献标识码:** A

铝的密度小、导电传热性好、较耐腐蚀及价格便宜,被广泛应用于各工业领域.近年来,由于铜价的大幅上涨,提高了铜的使用成本.目前,国内外开展的以铝代铜的研发工作,取得了显著的成绩^[1-4].空调、汽车用铝制换热器及散热器、铝制电缆等已广泛使用.随着铝制品的大规模应用,铝钎焊材料的用量也大幅度增加,据粗略统计,中国铝钎焊箔材的产能已达十万吨,铝钎焊箔材成为用量最大的钎焊材料.箔状钎料适用于平整规则的钎焊面,在保护气氛中钎焊.由于箔状钎料无法满足复杂钎焊面的钎接,近年来出现了采用粉状铝基钎料配合无腐蚀钎剂的钎焊工艺,焊后不用清洗,适应环保要求^[5].在采用粉状钎料的钎焊工艺中有关粒度分布对连接材料钎焊性能影响的研究尚不多见^[6],本文旨在进行这方面的研究探讨.

1 试验方法

采用氮气保护气氛气流雾化工艺制备粉状铝基钎料.将配好的铝基钎料合金在真空雾化熔化炉中熔化后,用氮气作雾化介质将熔融钎料合金喷雾凝

固成钎料粉末.经筛分、检验后即成为粉状铝基钎料.在制备过程中,通过控制熔液成分及温度、雾化气流压力、熔体流量和喷嘴结构,可控制粉末钎料的性能^[7].实验所采用的 Al87Si12Fe0.3 铝基钎料的熔点为 577 $^{\circ}\text{C}$,1035 母材的熔点为 660 $^{\circ}\text{C}$.铝基钎料及钎焊母材的成分^[8-9]列于表 1.

表 1 钎料及母材成分		
Table 1 Composition of filler metal and the base metal		
元素	钎料含量 w/%	1035 母材含量 w/%
Si	12.6	—
Fe	0.2	0.2
Cu	<0.3	—
Zn	<0.2	—
Mg	<0.1	—
Al	余量	>99.3

钎焊过程:按照国标 GB/T8619-1988 制备 80 mm \times 20 mm \times 3 mm 的铝板样品.将样品清洗后在两片铝板样品的搭界处放置混合好的粉状铝基钎料

收稿日期:2010-11-17
作者简介:蔡志红(1969—),女,湖南岳阳人,高级工程师,硕士.

钎剂,以 Noclock 钎剂^[5,8]为助焊剂,在东莞力华机械有限公司生产的 K-300 型高频钎焊机上进行高频钎焊,钎焊温度为 595~605 ℃.启动中频加热器加热样品,当钎料钎剂熔化填缝后,对钎焊样品施加一定的压力,控制钎焊缝隙,钎焊完毕停电冷却,观察焊缝是否被熔化钎料充填.

在深圳高品公司生产的电子式万能拉伸试验机上进行钎焊样品剪切强度拉伸试验.粉末粒度使用国家标准筛筛分.用 LECO 公司生产的气体分析仪分析钎料表面的氧含量.

铺展性试验:在 3 cm×3 cm×1 cm 的铝片上,放置 0.1 g 按比例混合好的钎剂钎料,以一定升温速率加热到 600 ℃,观察及测量钎料的熔化情况及铺展面积.

2 试验结果及讨论

当钎料在铝片上熔化时,钎料液滴与铝片基体形成一个浸润夹角 θ ,浸润角的余弦^[11]:

$$\cos\theta=\frac{\sigma_{s-g}-\sigma_{s-l}}{\sigma_{l-g}} \quad (1)$$

式(1)中: σ_{s-g} 为铝板基体与钎焊气体间的界面张力,N/m; σ_{s-l} 为铝板基体与钎料液体间的界面张力,N/m; σ_{l-g} 为钎料液体与钎焊气体间的界面张力,N/m.

钎焊是在两片铝片中进行的,当两块铝片间的焊缝宽度为 $2R$ 时,在表面张力的作用下,焊缝中间的钎料熔液形成弯曲面,如图 1 所示,并在焊缝中心形成一个平行于铝片平面的附加压力 P ^[13]:

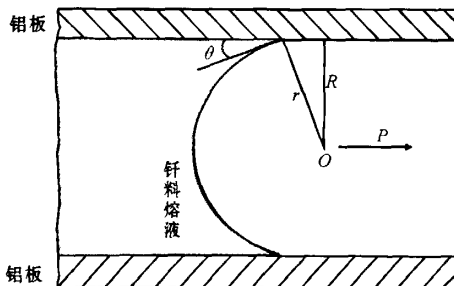


图 1 焊缝中的毛细作用

Fig. 1 Capillarity phenomenon in the brazing gap

$$P=\frac{2\sigma_{l-g}}{r} \quad (2)$$

式(2)中: σ_{l-g} 为液体与气体间的界面张力; r 为熔液曲率半径,m;且 $r=R/\cos\theta$,因此 P 可表示为:

$$P=\frac{2\sigma_{l-g}\cos\theta}{R} \quad (3)$$

由式(3)可知,当浸润角 $\theta=0$ 时, P 值最大,这时钎料熔液在铝片表面完全浸润铺展; $0<\theta\leq 90^\circ$ 时, $P\geq 0$,表明钎料熔液在铝片表面部分浸润铺展; $\theta>90^\circ$ 时, $P<0$,表明钎料熔液在铝片表面不能浸润铺展.

2.1 钎料粉末粒度对钎焊剪切强度的影响

采用气流雾化所制备的铝基钎料粉末具有较宽的粒度分布,不同粒度分布的钎料,钎焊的剪切强度不同,结果列于表 2.

表 2 钎料粉末粒度与钎焊剪切强度的关系¹⁾

Table 2 Relation of the size of the powder and the brazed shear strength of aluminum

序号	钎料粒度/ μm	钎料粉末色泽	剪切强度/MPa
1	300~400	银白色	16
2	150~180	银灰色	21
3	38~45	银灰色	19
4	28~38	银灰色	17
5	<28	棕红色	<11

1) 钎焊时,钎料钎剂比为 10:3.

由表 2 可以看出,粉末较粗($>300\ \mu\text{m}$)时的钎焊剪切强度较低;中间粒度($180\sim 38\ \mu\text{m}$)粉末的钎焊剪切强度较高;细粒度粉($<28\ \mu\text{m}$)的钎焊剪切强度最低,这一结果和文献[5]的报道相吻合.

假设粉状钎料为直径 d 的球形颗粒,其体积为:

$$V=\frac{\pi d^3}{6} \quad (4)$$

钎焊时,假设钎料熔液与上下铝板接触时形成了圆柱形,由式(5)可算出其与上(下)铝板接触的面积:

$$S=\frac{V}{2R} \quad (5)$$

当一定量的钎料粉末均匀分布时,在钎焊温度下,许多均匀分布的小面积钎料熔液连成完整的一片,直到充满整个焊缝.若颗粒较粗,易造成钎料颗粒的分布不均匀,在钎焊温度下,相邻的钎料颗粒熔化后,熔化面边际距离相对较远,其表面效应较差,

R 值较大^[6],周边相邻的钎料颗粒熔化后与铝板的接触面积相对小,因而接触面之间的间隙较多,所以焊件的剪切强度较低。

粉末钎料越细氧含量越高(表 3),钎焊剪切强度下降(表 2),这与国外学者的研究结果相符^[12]。表 3 为铝硅钎料粉末粒度与氧含量的关系。

表 3 铝基钎料粒度与氧含量的关系
Table 3 Relation of particle size of Al-Si filler metal and oxygen content

编号	粒度/ μm	含氧量 $w/\%$
1	300~400	0.032
2	150~180	0.051
3	38~45	0.063
4	28~38	0.077
5	<28	0.13

由表 3 可见,钎料粉末越细,其表面氧含量越高,钎料氧含量高会导致钎料的熔化温度升高^[13]及熔化后粘度提高。当氧含量过高,钎剂又不足时,钎料熔化形成细小液滴的间隙,在毛细作用下容易拉住先熔化的钎剂,使钎剂的铺展和排出困难,从而使熔化钎料的浸润角 θ 增大,当 $\theta > 90^\circ$ 时,则式(3)中的 $P < 0$,即钎料熔液受到压力,钎料熔液的铺展速度减慢^[14],甚至无法向焊缝铺展,造成钎焊剪切强度的降低。所以钎料粉末越细,钎焊时,消耗的钎剂越多,并且即使有一定压力压缩焊缝,钎料也不易在焊缝铺展,反而容易流出焊缝,钎焊质量难以控制。

在钎焊温度下,中间粒度粉末钎料的表面效应及接触面积之间连接的致密度均较好,钎料熔液不易流出焊缝,钎焊强度相对较高,这在我们的钎焊试验中得到了验证。

2.2 细粉含量对铺展性的影响

过细的粉末氧含量高,钎焊效果差,如表 2 和表 3 中的 5 号钎料粉末,国外有学者^[12]建议弃去。但在铝基钎料的制备过程中,筛去 28 μm 以下的微细粉较困难。我们的实验结果表明:含有一定量细粉的钎料,在一定条件下还是可用的,含有不同比例细粉钎料的铺展面积列于表 4。

表 4 含有不同比例细粉钎料的铺展面积
Table 4 Spreading area of filler metal with different amount of fine powder

细钎料(<28 μm) 含量 $w/\%$	$m(\text{钎料}) : m(\text{钎剂})$	铺展面积 / $(\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1})$
1	10 : 3	9.0
3	10 : 3	8.9
6	10 : 3	7.2
10	10 : 3	5.0
15	10 : 3	未熔

由表 4 可见,细粉含量低于 3% 时,铺展面积变化不大;反之,细粉含量对铺展面积的影响较大,甚至使钎料不铺展或不熔化。通过控制优化的雾化制粉工艺,制取含 3% 以下细粉的钎料,可避免细粉筛分工序繁杂,减小劳动强度,降低生产成本。

3 结 论

- (1)采用粒度在 150~180 μm 的粉状铝基钎料钎焊铝材,其焊件的剪切强度较高;采用粒度大于 300 μm 的粗钎料或粒度小于 150 μm 的细钎料钎焊铝材,其剪切强度较低。因此,采用粒度适中的粉状钎料可在高频钎焊工艺中获得较好剪切强度的焊件。
- (2)粉状铝基钎料的含氧量随粒度的减小而增加;当粉状钎料的含氧量大于 0.13% (质量分数) 时,铝的钎焊很难进行。
- (3)粉状铝基钎料中小于 28 μm 的粉末含量不超过 3% (质量分数) 时,焊料的铺展面积无明显变化。

参考文献:

[1] 马海军,李亚江,王娟. Cu/Al 异种有色金属的真空钎焊工艺[J]. 焊接技术,2007,36(1):36-38.
[2] 李亚江,吴会强,陈茂爱,等. Cu/Al 真空扩散焊接头显微组织分析[J]. 中国有色金属学报,2001,11(3):424-427.
[3] 孙立权. 铜铝过渡伸缩节的焊接工艺[J]. 焊接,1997,41(12):14-16.
[4] KOYAMA K, SHINOZAKI K J, LKEDA K J, et al. E-valuation of brazing properties using Al-Si-Mg-Bi brazing

- alloy-development of brazing technique for Al-Cu dissimilar joint[J]. Journal of Light Metal Welding and Construction, 2002, 40(9): 13-20.
- [5] 张启运, 庄鸿寿. 钎焊手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 1-41.
- [6] 徐锦锋, 翟秋亚, 杨宏城, 等. 粉末粒度对液膜溶解扩散连接特性的影响[J]. 焊接学报, 2004, 25(3): 101-103.
- [7] 蔡沛沛, 陈平. 焊膏用球形粉状铝基钎料的研制[J]. 材料研究与应用, 2007(4): 30.
- [8] 李亚江, 王娟, 李鹏. 异种难焊材料的焊接机应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 27.
- [9] Prepared by AWS Committee on Brazing and Soldering. Brazing Handbook[M]. Miami Florida: AWS Committee on Brazing and Soldering, 1991.
- [10] 陈志祥, 曾燕, 蔡志红, 等. 一种不锈钢-铝高频感应压力钎焊用无腐蚀钎剂: 中国, 200410077757 [P]. 2005-06-29.
- [11] 机械工业部. 焊接材料产品样本[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [12] TAKENMOTO T, UJIET. Influence of oxygen content on braze ability of a powder aluminum braze filler metal[J]. Welding Journal, 1996, 75(11): 372.
- [13] 丁培墉, 梁英教, 杨光芝. 物理化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1979.
- [14] 方洪渊. 简明钎焊手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001: 12.

Research on brazeability of aluminum-silicon filler metal powder

CAI Zhi-hong, LIU Hong-jiang, CHEN Ping, HE Jun-si

(Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510650, China)

Abstract: This paper briefly introduces the preparation process of aluminum-silicon filler metal powder, and exploits the aluminum brazeability using the above-mentioned powder as the solder. It discusses the influence of powder sizes on the process and performance of aluminum brazing from the aspect of surface tension. The result shows: brazed aluminum plates with powder sizes between 150—180 micron can get higher shear strength, while brazing with coarse powder (>300 micron) or fine powder (<28 micron), the shear strength is lower. The oxygen content of the aluminum-silicon filler metal powder increases with the decrease of the powder size. Brazing with the aluminum-silicon filler metal powder which contains less than 3% fine powder (<28 micron) can get spreading area as nearly large as that brazing without the fine powder.

Key words: aluminum-silicon filler metal powder; flux; aluminum brazing; surface tension