

文章编号:1673-9981(2007)03-0210-04

气雾化制备 Al-Si 钎料粉末的研究

杨凯珍, 刘福平, 黄云帅

(广州有色金属研究院, 广东 广州 510650)

摘要: 针对铝/不锈钢大面积钎焊对钎料的特殊要求, 采用气雾化法制备了 Al-Si 共晶合金钎料粉末, 并对雾化金属熔体质量流量、雾化气体压力及雾化温度等影响雾化效果的主要因素进行了研究。结果表明, 在金属液流直径 $d_0=5\text{ mm}$, 雾化气体压力 $P=1.0\text{ MPa}$, 雾化温度 $720\sim 770^\circ\text{C}$ 的条件下, 可制备出 $75\sim 350\mu\text{m}$ 粉末的质量分数达 90% 以上的钎料, 其各项性能指标均达到法国同类产品的水平。

关键词: 气流雾化; 粉末钎料; Al-Si 共晶合金; 钎焊

中图分类号: TF125.2

文献标识码: A

随着焊接工艺对钎料要求的提高, 丝状、片状钎料的应用受到一定限制。特别是大面积钎焊工件, 用丝状、片状钎料不方便施布, 难于适应规模化、大面积钎焊工件的生产需求, 而用粉状钎料能很好地解决大面积钎焊过程中焊料施布的问题。针对民用复底不锈钢锅规模化生产中, 存在铝与不锈钢之间大面积钎接的问题, 本文采用气雾化法制备了粉状 Al-Si 共晶合金钎料, 并探讨了雾化工艺参数对粉末性能的影响。

1 实验

1.1 设备

整套雾化制粉实验设备由熔炼系统、雾化气供给系统、雾化系统、粉末收集系统、排气收尘系统及粉末分级系统构成。该设备具有如下特点: 用中频感应加热熔炼炉熔炼, 升温速度快, 加热时间短, 减少了金属氧化, 此外, 感应加热熔炼具有电磁搅拌作用, 有利于合金成分的均匀化; 雾化气体为压缩空气, 经除油、除水净化处理, 保证了钎料粉末不受污染; 粉末收集塔采用水冷套的双层结构, 能使粉末快速冷却, 减少了粉末的过度氧化。

1.2 原料

原料为 Al-00 铝锭和 A 级结晶硅, 按共晶合金成分配成合金原料。

1.3 气雾化工艺

图 1 为气雾化制粉的示意图。首先将合金原料在熔炼炉内加热熔化成熔体, 再升温使其过热(高出合金熔点温度)。当合金熔体温度达 $720\sim 770^\circ\text{C}$ 时, 将合金熔体引入中间漏包。当合金熔体经中间漏包

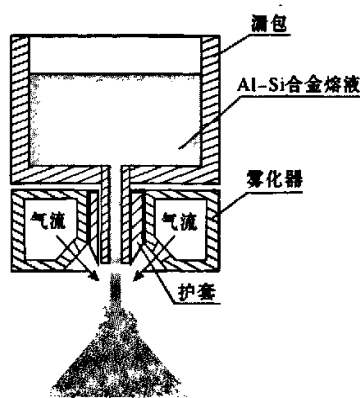


图 1 气雾化制粉的示意图

Fig. 1 Schematic of gas atomization for brazing powder

收稿日期: 2007-05-17

作者简介: 杨凯珍(1956-), 女, 广西贵港人, 高级工程师, 学士。

底部的导液管流出时,被从喷嘴射出的高速空气流撞击成微小的雾状液滴,液滴在降落过程中冷却并凝固成粉末,最后沉积在雾化塔底端的收集粉罐内。雾化后的气体经高效旋风分离器除尘后排放,冷却了的粉末经筛分处理可得到粉末粒度均匀,75~350 μm 粉末质量分数大于80%,氧含量小于0.03%的Al-Si共晶合金粉末钎料。

2 雾化工艺参数对粉末粒度的影响

气雾化法是制备金属或合金粉末的一种方法。随着气雾化制粉技术的不断革新和发展^[1-3],不少专家学者对气雾化制粉的机理进行了深入地探讨,提出了有关雾化工艺参数与粉末粒度关系的经验公式,最具代表性的是Lubaska^[3]经验公式:

$$d_m = k \cdot \left(\frac{\eta_m \cdot \sigma_m \cdot d_l}{\eta_g \cdot v_g \cdot \gamma_m} (1 + \frac{v_m}{v_g}) \right)^{1/2} \quad (1)$$

式(1)中: d_m 为粉末粒径, d_l 为金属液流直径, v_m 为金属液从漏包底部的漏液管漏出的质量流率, k 为常数, γ_m 为金属液密度, σ_m 为金属液表面张力, η_m 为金属液粘度, η_g 为气体粘度, v_g 为雾化器出口处的气体流速。

根据气体动力学原理,当压缩气流进入雾化器前后温度恒定时,雾化器出口处的气体流速 v_g 可用式(2)表示:

$$v_g^2 = \beta(1 - P^{-0.29}) \quad (2)$$

式(2)中: β 为常数, P 为雾化气体压力。

根据金属物理化学和热力学原理,金属液粘度 η_m 及表面张力 σ_m 可分别用式(3)和式(4)表示:

$$\eta_m = k_1 \cdot \exp\left(\frac{U}{RT}\right); \quad (3)$$

$$\sigma_m = -\frac{S \cdot dT}{dA} \quad (4)$$

式(3)和式(4)中: U 为激活能; k_1 , R 为常数; T 为金属熔体温度; S 为金属熔体的熵; dT 为金属熔体温度变量; dA 为金属熔体表面积变量。

由式(1)~(4)可知,雾化粉末粒度的主要影响因素是金属液流直径 d_l 、金属熔体温度 T 、雾化气体压力 P 及金属液的质量流率 v_m 。下面分别讨论这些参数对气雾化法制取Al-Si共晶合金粉末钎料粒度的影响。

2.1 金属液的质量流率对合金粉末粒度的影响

当雾化气体压力 $P=1.0\text{ MPa}$ 及其它工艺参数

一定时,金属液的质量流率主要取决于液流直径 d_l 。图2为在不同金属液流直径的条件下所制备的粉末的粒度分布。从图2可以看出,当金属液流直径为4.0 mm时,粒度小于75 μm 的粉末的质量分数超过20%,75~350 μm 粉末的质量分数为70%左右;当金属液流直径为6.0 mm时,制备的粉末向粗粒级方向偏移,其中粒度小于75 μm 粉末的质量分数不到10%,75~350 μm 粉末的质量分数低于80%;当金属液流直径为5.0 mm时,粒度小于75 μm 粉末的质量分数低于10%,75~350 μm 粉末的质量分数高于90%。这是由于金属液流直径越小,气流对金属液流的撞击越充分,粉末粒径也就越小,试验结果与式(1)相符。粉状钎料要求粉末粒度均匀,75~350 μm 粉末的质量分数大于80%。试验结果表明,当金属液流直径 $d_l=5.0\text{ mm}$ 时,75~350 μm 粉末的质量分数高于90%,雾化效果好。

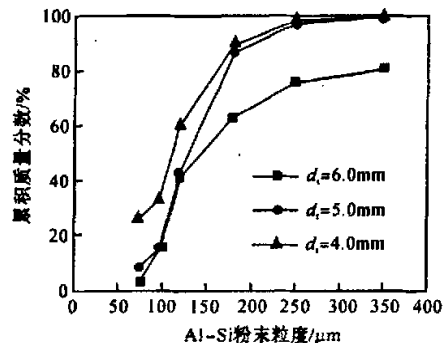


图2 不同金属液流直径下合金粉的粒度分布

Fig. 2 Distribution curve of powder particle size for different rate of the melt flow

2.2 雾化气体压力对合金粉粒度的影响

当金属液流直径 $d_l=5.0\text{ mm}$ 及其它工艺参数一定时,不同雾化气体压力下合金粉的粒度分布如图3所示。从图3可以看出,当雾化压力 $P=0.8\text{ MPa}$ 时,粒度小于75 μm 粉末的含量低,75~350 μm 粉末的质量分数低于80%;当 $P=1.0\text{ MPa}$ 时,粉末粒度偏细,75~350 μm 粉末质量分数超过90%;当 $P=1.2\text{ MPa}$ 时,粉末进一步细化,其中小于75 μm 粉末所占比例大幅上升,75~350 μm 粉末的质量分数降低。由式(1)和(2)可知,气体压力越大,气流速度越大,粉末粒径也就越小,试验结果与其相符。当

金属液流直径 $d_i=5.0\text{mm}$ 、雾化压力 $P=1.0\text{MPa}$ 时, $75\sim 350\text{ }\mu\text{m}$ 粉末的质量分数超过 90%, 雾化效果好。

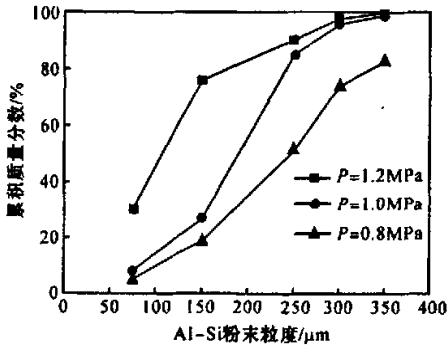


图3 不同雾化气体压力下合金粉的粒度分布

Fig.3 Effect of different atomized pressures on powder particle size

2.3 雾化温度对合金粉粒度的影响

金属液被破碎成金属液滴的程度与阻碍液滴破碎的内力即液流的表面张力和粘度有关。由式(3)和式(4)可知, 金属熔体的表面张力 σ_m 及粘度 η_m 随雾化温度升高而降低, 同时由式(1)可知, 粉末粒径相应减小, 气体溶入金属熔体中的速率与温度的关系可用式(5)表示^[4]:

$$v = \frac{n}{\delta} P^{1/2} \cdot \exp(-Q/2RT). \quad (5)$$

式(5)中: v 为气体溶入金属熔体中的速率; n 为常数; δ 为金属液厚度; P 为雾化气体压力; T 为金属熔体温度, 即雾化温度; Q 为激活能。

对于 Al-Si 共晶合金而言, 随着雾化温度 T 的提高, 溶入金属熔体中的气体将增加, 而空气中的 O 和 N 与熔体中的 Al 形成熔点高的化合物 Al_2O_3 和 AlN , 使金属熔体的粘稠度增加。这样一方面对雾化不利, 另一方面造成产品中非金属的夹杂增多。在铝/不锈钢大面积钎焊过程中, 这些夹杂物成为焊渣并且很难排到焊接面外, 而形成焊缝夹渣, 降低了焊接强度。因此, 用雾化法制备 Al-Si 合金粉时须严格控制雾化温度, 以保证产品质量。试验中发现, 雾化温度低于 700°C 或高于 850°C 时, 金属熔体变得粘稠, 导流管易堵, 使雾化过程难于顺利进行, 且所制备的粉末偏粗; 雾化温度控制在 $750\sim 800^\circ\text{C}$ 时, 雾化过程稳定, 雾化效果好, $75\sim 350\text{ }\mu\text{m}$ 粉末的含量高。经过一系列试验得出适宜的雾化温度为 $720\sim 770^\circ\text{C}$ 。

3 产品性能

在金属液流直径 $d_i=5.0\text{mm}$ 、雾化气体压力 $P=1.0\text{MPa}$ 、雾化温度 $720\sim 770^\circ\text{C}$ 的条件下, 用雾化法所制备的 Al-Si 钎料粉末(A)与法国同类产品(B)的性能指标分别列于表 1~3。由表 1~3 可知, 用雾化法制备的 Al-Si 钎料粉末的各项性能指标均与法国同类产品相当。

表1 粉状 Al-Si 共晶钎料的组成成分

Table 1 Composition of the filler metal of aluminum silicon eutectic								w/%
产品	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Ca	O ₂	Al
A	11.08~12.0	<0.22	<0.004	<0.016	<0.004	<0.004	<0.030	余量
B	12.08	<0.25	<0.05	<0.026	<0.009	<0.003	<0.056	余量

表2 粉状 Al-Si 共晶钎料的粒度分布

Table 2 Distribution of particle size of the filler metal of aluminum silicon eutectic					w/%
产品	粒度/μm				
	75~96	96~120	120~198	198~350	
A	21.1	28.5	31.4	19.0	
B	24.1	23.1	32.2	20.6	

表3 粉状 Al-Si 共晶钎料的粉末特性及焊接性能

Table 3 Powder features and brazing properties of the filler metal of aluminum silicon eutectic

产品	松装密度 /(g · cm ⁻³)	流动性 /(0.02s · g ⁻¹)	有效密度 /(g · cm ⁻³)	熔点/℃	铺展性/cm ²	填充性/cm
A	12.49	121	2.69	573±2	11.86	10.2
B	12.49	121	2.70	575	11.47	10.2

4 结 论

采用气雾化法制备 Al-Si 共晶合金钎料粉末,在金属液流直径 $d_1=5\text{ mm}$ 、雾化气体压力 $P=1.0\text{ MPa}$ 、雾化温度 $720\sim 770^\circ\text{C}$ 的条件下,可使雾化过程稳定, $75\sim 350\mu\text{m}$ 粉末的质量分数达 90% 以上.所制备的钎料粉末的各项性能指标与法国同类钎料粉末相当,可全面替代该类进口产品.

参考文献:

- [1] 陈仕奇,黄伯云.金属粉末气体雾化制备技术的研究现状与发展[J].粉末冶金材料科学与工程,2003,13(3):201-208.
- [2] ÜNAL A. Production of rapidly solidified aluminum alloy powders by gas atomization and their applications[J]. Powder Metallurgy,1990, 33 (3),53-64.
- [3] 劳莱,艾伦劳利.高性能粉末冶金译文集[M].北京:国防工业出版社,1982,38.
- [4] 向培森.轻金属材料加工手册(下册)[M].北京:冶金工业出版社,1986,1-3.

The development of Al-Si braze powder produced by gas atomization

YANG Kai-zhen, LIU Fu-ping, HUANG Yun-shuai

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

Abstract: In this paper, corresponding to the special requirement for brazing filler metal of large area brazing of aluminum/stainless steel, the gas atomization process was used to prepare Al-Si brazing powder with the eutectic composition. The effect of process parameters of melt flow rate, atomization gas pressure and temperature on the atomization result have been studied, the result indicates: under the conditions of the melt flow diameter of $d_1=5.0\text{ mm}$, atomization gas pressure of $P=1.0\text{ MPa}$ and atomization temperature of $720\sim 770^\circ\text{C}$, production rate of the qualified aluminum alloy filler metal powder of particle size $75\sim 350\mu\text{m}$ is over 90% wt, the product quality of Al-Si eutectic alloy brazing powder is same as that of the product made by France.

Key words: gas atomization; brazing powder; Al-Si eutectic alloy; braze