

文章编号:1673-9981(2007)02-0140-03

# 空气流雾化铝硅共晶合金粉末钎料的粒度分布

刘福平, 杨凯珍, 陈志祥, 蔡志红, 蔡沛沛, 黄云帅, 刘凤美

(广州有色金属研究院焊接材料研究所, 广东 广州 510650)

**摘要:** 对空气雾化制备的 Al-Si 共晶合金粉末钎料粒度分布进行了研究, 结果表明, 粉末钎料粒度分布呈双峰曲线, 主要分布在 105~246 $\mu\text{m}$  之间. 运用二次破碎机理对颗粒分布特征进行了分析, 并推导出液滴发生二次破碎极限尺寸的计算公式.

**关键词:** 雾化; 铝硅共晶合金; 粉末钎料; 粒度分布; 二次破碎; 极限尺寸

**中图分类号:** TF123.112

**文献标识码:** A

Al-Si 共晶合金作为不锈钢/铝复合钎焊的焊料, 在钎焊性、强度、与母材色泽一致性、镀覆性和抗腐蚀性等方面都表现极佳, 是优良的钎料<sup>[1]</sup>.

不锈钢炊具美观耐用, 但导热性差. 在炊具的受热面上用中频或高频感应钎焊复合一层导热性好的铝底, 可使炊具受热均匀, 保温性能提高, 节能效果明显. 在不锈钢炊具受热面上钎焊复合一层铝, 属于大面积钎焊, 一般使用 Al-Si 共晶合金粉末作钎料. 用空气流雾化法制备的 Al-Si 共晶合金粉末钎料, 可去除粒径小于 30 $\mu\text{m}$  的粉粒, 降低粉末的氧含量, 为获得优良钎缝提供了保障<sup>[1]</sup>. 该产品使用方便, 价格便宜, 保存时间长, 符合焊后炊具的使用要求. 本文对 Al-Si 共晶合金粉末钎料的粒度分布进行了研究, 为获得粒度分布稳定的钎料生产工艺提供了可靠的依据.

## 1 Al-Si 粉末钎料的制备及筛分

### 1.1 粉末钎料的制备

按 Al-Si 共晶合金成分配料后, 在大气气氛下置于中频感应坩埚炉中熔炼, 加热到 750~780 $^{\circ}\text{C}$ , 然后倒入事先预热好的漏包内, 合金熔液从漏包的导液管流出, 被经喷嘴高速喷出形成旋涡封闭的空

气锥(压缩空气压力 1.15~1.20MPa, 露点 3 $^{\circ}\text{C}$ )击碎成细小液滴, 迅速冷凝成粉, 最后收集于集粉桶内.

### 1.2 粉末钎料的取样及筛分

按梅花瓣布点方式在集粉桶中取五份样品, 将它们均匀混合后用四分法分割, 直至样品为 100g.

用筛孔尺寸分别为 351, 175, 147, 105, 74, 63 和 43 $\mu\text{m}$  的系列泰勒标准筛对样品进行筛分. 筛分机为震击式标准振筛机, 其摇动频率为 221 次/min, 震击频率为 147 次/min, 开机筛动 15min 后, 清理每个筛子的粉末并依次称量.

## 2 Al-Si 粉末钎料的粒度分布

### 2.1 粉末钎料的筛分结果

用空气流雾化法制备的 Al-Si 共晶合金粉末钎料的筛分结果如图 1 所示. 由图 1 可以看出: 粉末粒级质量分数与粒度的关系呈双峰曲线, 在 68 $\mu\text{m}$  和 126 $\mu\text{m}$  处各有一个峰值; 粉末的粒度大部分分布在 105~246 $\mu\text{m}$ , 粒级质量分数为 95.9%, 粒度大于 350 $\mu\text{m}$  的粉末质量分数不足 0.1%, 粒度小于 63 $\mu\text{m}$  的粉末质量分数不足 4%. 由此可知, 钎料的细颗粒含量低, 有利于降低粉末钎料的氧含量, 为获得优良

收稿日期: 2006-10-30

作者简介: 刘福平(1963-), 男, 广东五华人, 高级工程师, 学士.

钎缝提供了保障.

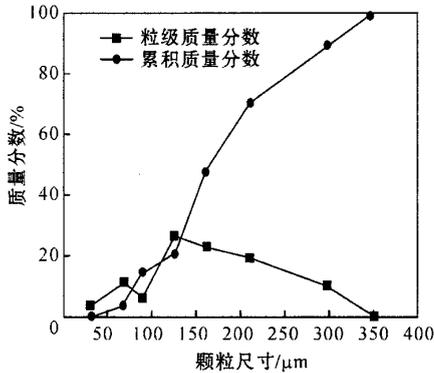


图 1 Al-Si 共晶合金粉末钎料粒度分布

Fig. 1 The size distribution of Al-Si eutectic alloy powders

### 2.2 粉末钎料的平均直径

粉末颗粒的平均直径是粉末颗粒的一个重要特征尺寸,通常用于表征和区别不同颗粒的尺寸特征<sup>[2]</sup>.在此采用二种方法来表征颗粒的尺寸特征,即中间尺寸  $d_{50}$  及体积平均尺寸  $d_{vm}$ . 其中,  $d_{50}$  是粉末质量累积百分数为 50% 所对应的粉末颗粒尺寸,可从累积质量分布曲线上获得;  $d_{vm}$  为非球形粉末颗粒折射成等体积球的直径平均值,可表示为<sup>[3]</sup>:

$$d_{vm} = \sum(x \cdot d\varphi) / 100. \quad (1)$$

式(1)中:  $x$  为每一粒级颗粒的平均尺寸,  $\mu\text{m}$ ;  $d\varphi$  为每一粒级颗粒所占的质量百分数.

将筛分试验数据代入式(1),可计算出 Al-Si 共晶合金粉末钎料的  $d_{vm} = 155.9\mu\text{m}$ ,由图 1 曲线可知,累积质量分数所对应的  $d_{50} = 155\mu\text{m}$ . 由此可知,  $d_{vm}$  计算值与筛分析结果  $d_{50}$  非常吻合.

## 3 Al-Si 粉末钎料粒度分布特征的讨论

### 3.1 粉末颗粒的形成

Al-Si 共晶合金液流被高速运动着的雾化介质(空气)撞击,粉碎成液滴. 这些液滴中的大部分能被一次冷凝成粉末颗粒,但还有一些较大的液滴,随着雾化介质射流的运动方向,以不同的速度运动. 大液滴在运动过程中,当作用在液滴上的气动力与表面张力应力不平衡时,大液滴被进一步破碎成细小液滴,形成极限粒径的粉末(图 2).



图 2 气流雾化过程

Fig. 2 Metal spray in atomizing Al-Si alloys

### 3.2 Al-Si 共晶合金雾化液滴二次破碎的近似计算

大液滴在飞行过程中,在气动力的作用下,其表面的压力分布是不均匀的,致使液滴变形,当变形达到一定程度时,液滴破裂,形成更小的液滴,并凝固成粉末颗粒. 假定液滴为球形,在忽略重力和浮力作用的条件下<sup>[4]</sup>,作用在液滴上的力只有雾化介质(空气)产生的曳力及液滴表面张力的应力(收缩力). 曳力试图使液滴变形,而表面张力的应力方向与曳力方向相反,阻止液滴变形. 曳力  $F_D$ <sup>[4]</sup> 和表面张力的应力  $F_P$ <sup>[5]</sup> 分别为:

$$F_D = \pi d^2 C_D \rho_g (u - u_p)^2 / 8, \quad (2)$$

$$F_P = \pi \sigma d / 4. \quad (3)$$

式(2)~(3)中,阻力系数  $C_D$  取过渡区的 Allen<sup>[5]</sup> 近似公式,即  $C_D = 10/R_e^{1/2}$  ( $R_e$  为雷诺数);  $d$  为液滴直径,  $\text{m}$ ;  $u$  为液滴飞行时雾化介质的流速,  $\text{m/s}$ ;  $u_p$  为液滴运动的速率,  $\text{m/s}$ ;  $\rho_g$  为雾化介质密度,  $\text{kg/m}^3$ ;  $\sigma$  为液滴的表面张力,  $\text{J/m}^2$ .

当  $F_P \leq F_D$  时,液滴将发生变形,并有可能碎裂成更小的液滴而凝固成粉末颗粒. 由式(2)和式(3)可得:

$$d \geq \sigma R_e^{1/2} / 5 \rho_g (u - u_p)^2. \quad (4)$$

当液滴进入 Allen 气流中时,  $13 \leq R_e < 500$ , 将  $R_e = 13$ <sup>[5]</sup> 代入式(4)中,可推导出液滴二次破碎时所形成的粉末尺寸为:

$$d \geq 0.72 \sigma / \rho_g (u - u_p)^2. \quad (5)$$

由式(5)可知,要计算液滴二次破碎所形成的粉末尺寸,需先计算出液滴的表面张力  $\sigma$ . 在恒温恒压及理想气体状态下,由 Kelvin<sup>[6]</sup> 关系式可知:

$$\sigma = \Delta P \cdot r / 2. \quad (6)$$

式(6)中  $\Delta P$  为液体成球状时的蒸气压与成平面状

时的蒸气压之差,  $P_a$ ;  $r$  为球形液滴半径,  $m$ .

要计算 Al-Si 共晶合金液滴的  $\sigma$ , 需先计算  $\Delta P$ .

由于没有足够的计算  $\Delta P$ , 这里忽略 Si 对 Al 液  $\sigma$  的影响, 以纯 Al 液的  $\sigma$  代替 Al-Si 共晶合金液的  $\sigma$ , 进行近似计算. 纯 Al 液的  $\sigma$  为<sup>[3]</sup>:

$$\sigma = [914 - 0.35(T - 933)] \times 10^{-3}. \quad (7)$$

式(7)中  $T$  为液滴的温度,  $K$ .

取  $T = 950^\circ C$ , 由式(7)可算出  $\sigma = 0.90805 J/m^2$ . 取雾化介质空气的密度  $\rho_a = 1.23 kg/m^3$ , 那么, 形成  $68 \sim 126 \mu m$  稳定颗粒的相对气流速率为  $87.16 \sim 72.03 m/s$ . 直径  $68 \sim 126 \mu m$  的液滴相对于气流的飞行速率超过  $98.06 \sim 72.03 m/s$ , 或相对于气流的飞行速率  $98.06 \sim 72.03 m/s$  而直径大于  $68 \sim 126 \mu m$  的液滴, 在飞行过程中均有可能产生二次破碎. 为制得较粗的 Al-Si 共晶合金粉末钎料, 将雾化器设计为环孔式, 雾化介质流速为亚音速, 这样雾化后的液滴较粗, 形成稳定颗粒前较粗大的液滴在飞行过程中二次破碎的几率大. 由图 1 可知, 粉末稳定的粗颗粒主要集中在  $105 \sim 246 \mu m$ , 稳定的细颗粒主要集中在  $74 \sim 63 \mu m$ , 因此, 在细粒区出现的一个峰值可认为是由大液滴二次破碎所形成的细颗粒粉末增加所致.

到目前为止, 还没有适合的理论可准确计算雾化液滴二次破碎后的颗粒分布, 本文的研究结果有助于估算形成稳定颗粒的范围.

## 4 结论

(1) 采用空气流雾化制备的 Al-Si 共晶合金粉

末钎料的粒度主要分布在  $105 \sim 246 \mu m$ , 粉末粒级质量分数与颗粒粒度的关系呈双峰曲线.

(2) Al-Si 共晶合金粉末钎料的  $d_m$  与  $d_{50}$  吻合. Al-Si 共晶钎料的细颗粒含量低, 为形成优良的焊缝提供了保障.

(3) 推导出的形成稳定颗粒极限尺寸的计算公式, 可用来估算稳定颗粒在气流场中的飞行速度, 或根据液滴飞行速度估算形成稳定颗粒的极限尺寸.

(4) Al-Si 共晶合金粉末钎料粒级分布曲线在细粒级出现的峰值, 可认为是雾化后的由大液滴二次破碎所形成的细颗粒增加所致.

### 参考文献:

- [1] 张启运, 庄鸿寿. 钎焊手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999: 41-49.
- [2] 谢洪勇. 粉体力学与工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 4.
- [3] NAL A. Gas atomization of fine zinc powders[J]. The International Journal of Powder Metallurgy, 1990, 26(1): 13-16.
- [4] 李清泉, 王吉南, 薛明伦. 超音速气动雾化制粉机理的实验研究及分析[J]. 力学学报, 1992, 24(6): 658.
- [5] NAL A. Liquid break-up in gas atomization of fine aluminum powders[J]. Metallurgical Transactions B, 1984, 20B: 68.
- [6] 肖纪美. 合金能量学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 459-462.

## The size distribution of the powder solder for Al-Si eutectic alloy using gas atomization

LIU Fu-ping, YANG Kai-zhen, CHEN Zhi-xiang, CAI Zhi-hong, CAI Pei-pei, HUANG Yun-shuai, LIU Feng-mei  
(Guangzhou research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510650, China)

**Abstract:** The size distribution of the powder solder for Al-Si eutectic alloy using gas atomization is studied. It is pointed out that the size distribution of the powder solder covered a range of 105 to 246  $\mu m$ . The size distribution curve indicates a bimodal population. It is proposed that these large droplets undergo further disintegration in flight to produce the powder (secondary break-up). Although adequate theories are not available for the prediction of the sizes of the daughter particles, methods in the present work are available for the estimation of the stable particle ranges. Research in single liquid droplet has shown that secondary break-up will not occur unless these sizes of liquid droplets exceed a critical value.

**Key words:** gas atomization; Al-Si eutectic alloy; powder solder; size distribution; secondary break-up; critical size