

微量元素对快冷高硅铝合金粉末特性的影响^①

孙章明 陈振华 丁道云
(中南工业大学非平衡材料研究所, 长沙 410083)

摘 要 制备了含微量磷元素的 Al-22Si 合金粉末。研究了粉末形貌、粒度大小与分布, 以及粉末显微组织, 并初步探讨了微量磷对合金粉末特性影响的机理。结果表明, 微量磷元素降低了粉末氧含量。其中含 0.04% 磷的快冷 Al-22Si 合金粉末球形粉末较高, 平均粒度最小, 粉末中初晶硅得到了进一步细化。

关键词 快速凝固 铝-硅合金 磷 显微组织

高硅铝合金是一种传统的铸造合金, 它具有较好的强度和耐磨性, 同时热膨胀系数小, 但在铸造过程中由于初生硅相呈粗大的针状析出, 导致其塑性极低, 因此很难做结构材料应用。七十年代发展起来的快速凝固技术可以改善合金的显微组织, 减少偏析, 提高合金固溶度等等, 这种快冷高硅铝合金由于其高强度、高韧性、高弹性模量、耐磨和疲劳特性优异, 以及热膨胀系数小, 适用于航空、航天、汽车和微电子工业。目前世界各国, 尤其是日本和荷兰在快冷铝-硅合金的研究上投入了较大的力量, 并取得了一些成果^[1-2]。我国对快冷高硅铝合金的研究还处于起步阶段, 存在着许多物理冶金问题需要研究。本文借助多级雾化装置(MA-RS)制备了含微量元素磷的 Al-22Si 合金粉末, 研究了粉末特性, 并初步探讨了微量元素对粉末特性的影响。

1 实验过程

实验用纯度 99.70% 铝和 99.99% 硅为原料, 按 Al-22% Si 配料, 在电阻炉中熔炼, 合适温度下分别加入 0, 0.04, 0.08 和 0.12% 磷, 利用作者自行研制的多级雾化装置^[3]喷粉, 其中-200 目粉末收得率达 85% 以上, 由此制成

不同含磷量 Al-22% Si 合金粉末供检测。喷射条件为: 液流直径 $d2.5\text{ mm}$, 氮气压力 $1\ 200\text{ kPa}$, 转盘速率 $4\ 000\text{ r/min}$, 水冷却, 喷射高度 75 mm 。利用化学分析方法分析了各合金粉末中磷和氧含量, SKC-2000 型光透粒度仪进行粉末粒度及分布测定, 并借助 RYKY-AM-RAY1000B 扫描电镜, NEOPHOT-21 型金相显微镜研究粉末形貌和组织特点。

2 实验结果与讨论

2.1 粉末粒度和形貌

表 1 为各合金中磷和氧含量化学成分分析结果。表 2 为相同雾化条件下, 各合金-200 目粉末的平均粒度, 粒度分布及比表面积。由表 2 中 2[#] 合金粒度绘出的粒度分布曲线见图 1。

表 1 Al-22Si 合金粉末中磷和氧含量 (%)

粉末编号	P/ %		O/ %
	名义成分	分析成分	
1 [#]	0	0	1.40
2 [#]	0.04	0.040	1.00
3 [#]	0.08	0.070	0.90
4 [#]	0.12	0.071	0.95

由表 2 可见, 粉末平均粒度小于 $25\text{ }\mu\text{m}$,

① 收稿日期: 1995-12-14; 修回日期: 1996-02-15 孙章明, 男, 25 岁, 助理研究员

但合金 2[#] 粉末平均粒度较小, 其粒度不是正态分布, 峰值向一侧偏移, 且并未发现第二峰 (即双峰分布现象)^[4]。这主要可能跟多级快冷装置的充分冷却而导致平均粒度附近细粉收得率高有关。

各合金- 200 目粉末形状有球形、液滴形和不规则形状 (见图 2), 图 2(b) 为 2[#] 合金粉末, 显示出球形颗粒较多。影响粉末粒度和形状的原因很多, 主要与氧化^[5] 工艺条件和合金特性^[3] 有关, 本次实验严格控制雾化氮气压力、熔液过热温度, 在氧化和工艺条件基本固定的前提下, 仅重点探讨合金成分变化的影响。微量 P 的加入降低了熔液的氧含量, 添加 0.04% 磷导致类球形粉末多、粒度小, 更多的磷则对获得球形细粉无明显效果。

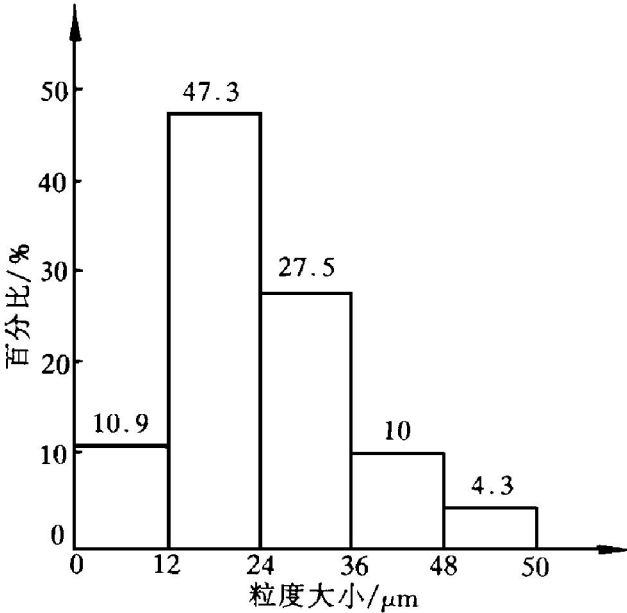


图 1 合金 2[#] 粉末粒度分布图

表 2 粉末粒度及其分布

合金号	平均粒度/ μm	比表面积/ cm ² ·g ⁻¹	粒度分布/%				
			≤12μm	12~ 24μm	24~ 36μm	36~ 48μm	≥48μm
1 [#]	21. 6	1260. 3	10. 9	47. 3	27. 5	10. 0	4. 3
2 [#]	15. 9	2266. 4	31. 3	47. 3	14. 8	4. 5	2. 1
3 [#]	23. 4	1398. 5	15	36. 6	23. 1	14. 6	10. 7

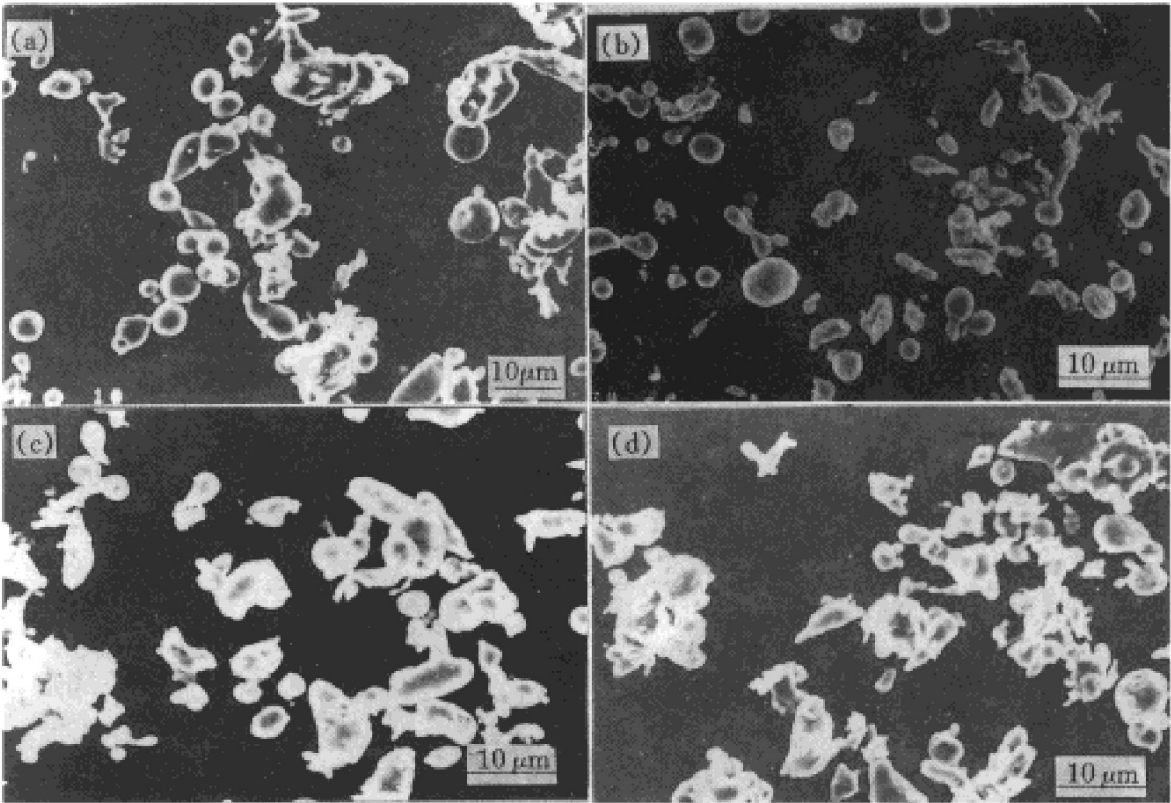


图 2 快冷 Al- 22Si 合金粉末扫描形貌

(a) —合金 1[#]; (b) —合金 2[#]; (c) —合金 3[#]; (d) —合金 4[#]

2.2 粉末的微观结构

对快冷 Al-22Si 合金-200 目粉末显微组织的研究表明,四种合金粉末均具有极细而均匀的硅相分布;晶硅尺寸很小,在平均粒度 $20\mu\text{m}$ 左右的粉末中,初晶尺寸约为 $1.0\sim 2.0\mu\text{m}$,远远小于铸造条件下得到的 $20\mu\text{m}$ 以上的初晶硅尺寸^[6],且四种合金粉末中的初晶硅尺寸无明显差别。图3为各合金 $50\mu\text{m}$ 左右粉末的显微组织金相照片。由图3所示,初晶硅一般不超过 $5\sim 8\mu\text{m}$,其中以合金 2[#] 初晶硅更细小且分布均匀,3[#] 和 4[#] 合金同 1[#] 合金相比,初晶 Si 有所细化但不明显。为了进一步区分各合金粉末显微组织的差别,作者又对-60~+100 目的各合金粉末显微组织进行了检测,结果在 2[#]、3[#]、4[#] 合金中发现了如图4所显示的典型组织,其粉末粒度均在 $150\mu\text{m}$ 以上,但初晶硅细小且均匀分布。

以上研究表明,添加微量磷后对该合金对较粗粉末的显微组织有较明显的改善,其中以添加 0.04% P 后,在各粒度粉末中初晶硅的粒

度与分布的均匀性都较好。

3 讨论

3.1 微量磷与粉末粒度、形貌的关系

粉末的成形性和粉末的显微组织是影响粉末冶金材料性能的主要因素。与形状相同的粗粉末相比较,细粉成形性较好,这是由于细粉颗粒间的接触点较多,接触面积增加,而表面平滑规则近球形的粉末流动性好,易于充填模腔,不易产生拱桥现象,使压坯的密度分布均匀,所以制粉中获得近球形较多的细粉,对于粉末的压制性是有益的。本研究通过添加 0.04% P 改善了 Al-22Si 合金的粒度组成与形貌,这是因为磷为活性元素,可大大降低液体金属的表面张力^[7],而且磷还是活性还原剂,还可通过降低熔体中的氧含量减小金属粘度,促使液滴球化。

多级雾化工艺是由高压气体雾化和旋转盘离心雾化二级冷却组成的。合金中若有更多的

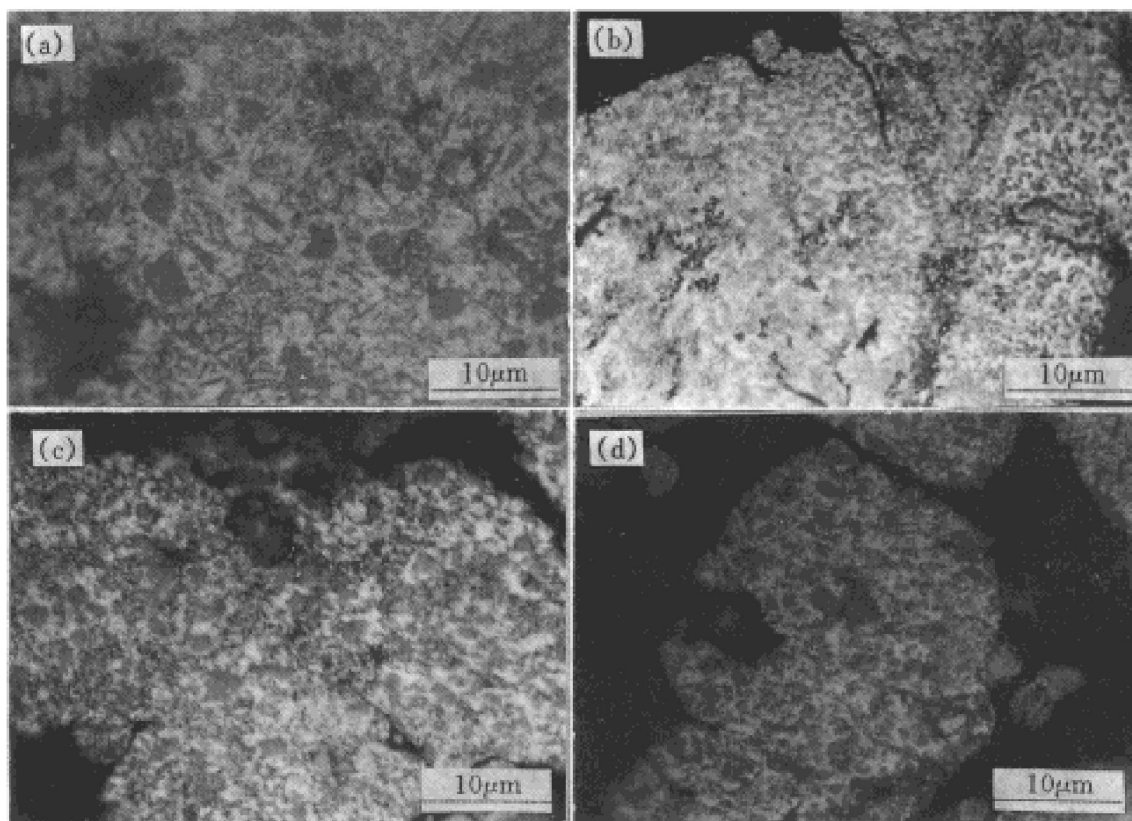


图3 快冷 Al-22Si 合金粉末金相显微组织

(a) —合金 1[#]; (b) —合金 2[#]; (c) —合金 3[#]; (d) —合金 4[#]

磷将进一步降低熔体的表面张力和粘度,使高压雾化后的熔体在飞行过程中和撞击旋转盘后出现较大程度的凝固,弱化了旋转盘的离心雾化过程。由于液滴在旋转盘上凝固时间短,因而球化时间短,导致粉末不规则形状多。

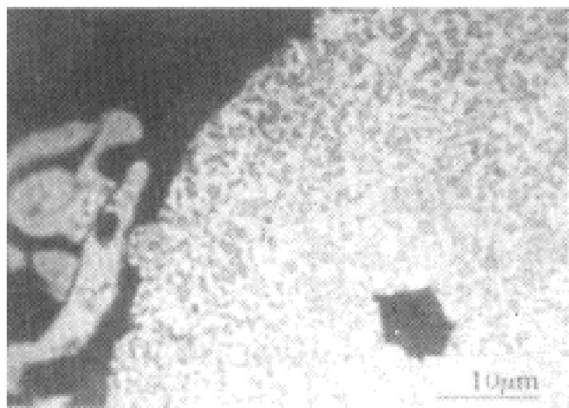


图4 2[#]、3[#]、4[#]号合金粉末中典型大颗粒组织

3.2 微量磷与粉末显微组织的关系

微量磷对较粗粉末显微组织的改善估计是由以下两因素造成的:

(1) 磷添加后在熔体中形成大量 AlP 化合物点,它具有同 Si 接近的金刚石型立方晶格。可以作为 Si 晶的外生核^[8],促进形核,这同铸造中加磷进行变质处理的机理类似。

(2) 降低表面张力和粘度,使合金液固转变的临界过冷度减小,缩短了颗粒的冷却时

间,因而组织细小。如图3显示的粉末,极有可能是熔体在撞击圆盘瞬间凝固形成的片状粉末,由于冷速度所以组织细小,其中间孔洞多为较薄部分在金相磨片后形成的。

4 结论

(1) 多级雾化喷粉装置用于制备 Al-22Si 合金,易于获得粒度小于 25 μm 的粉末。

(2) 添加微量磷降低了快冷 Al-22Si 合金粉末的氧含量。

(3) 添加 0.04% P 有利于获得类球形较多的细粉,且进一步细化初晶硅并使之分布均匀。

参考文献

- 1 Amano N *et al.* Met Powd Rep, 1989, 44(3): 186.
- 2 Zhou J. J Mater Sci, 1990, 25(10): 4541-4548.
- 3 陈振华等. 中南矿冶学院学报, 1991, 22(增刊第1期): 11.
- 4 Bewlay B P, Cantor B. Metall Trans, 1990, 21B: 899.
- 5 Zhou J *et al.* J Mater Sci, 1992, 27(12): 3341-3352.
- 6 魏伯康等. 特种铸造及有色合金, 1990, (3): 7.
- 7 黄培云主编. 粉末冶金原理. 北京: 冶金工业出版社, 1992: 104-105.
- 8 林玲, 刘锦辉. 机械工程材料, 1990(2): 33.

EFFECT OF ADDITIONS OF TRACE ELEMENTS ON CHARACTERISTICS OF RS HIGH SILICON AL POWDER

Sun Zhangming, Chen Zhenhua, Ding Daoyun

Non-equilibrium Materials Research Institute,

Central South University of Technology, Changsha 410083

ABSTRACT Several Al-22Si alloy powders with additions of trace phosphorus were prepared by rapid solidification, and powder morphology, size and distribution, microstructure and the effect mechanism of trace phosphorus on alloy powder characteristics have been investigated. It was concluded that the additive phosphorus decrease the oxygen content of the powder, and the RS Al-22Si alloy containing 0.04% phosphorus provides more ball-like powders, smaller average size, more refined primary silicon phases.

Key words rapid solidification aluminium-silicon alloy phosphorus microstructure

(编辑 朱忠国)