

[文章编号] 1004- 0609(2001)05- 0852- 06

喷嘴结构和工艺参数对雾化锌粉粒度的影响^①

陈文汨, 万新华

(中南大学 冶金科学与工程系, 长沙 410083)

[摘 要] 在自行设计的雾化制粉装置上, 研究了限制式喷嘴的关键结构参数如输液管内径、喷嘴突出长度等, 以及雾化工艺参数如压力及液锌的过热度等对锌粉粒度的影响。将所制备的锌粉进行了筛分, 对粒径的大小和分布进行了分析。实验发现, 颗粒粒度的分布服从对数-正态分布规律。在一定的条件下, 输液管内径越大, 输液管突出长度越长, 锌粉的平均粒度 d_m 、体积平均直径 d_{vm} 和 Sauter 平均直径 d_{vs} 越大, 即颗粒越粗; 雾化压力越大, 液锌的过热度越高, d_m , d_{vm} 和 Sauter 平均直径 d_{vs} 越小, 即粉末越细。

[关键词] 限制式喷嘴; 雾化锌粉; 平均粒度; 体积平均直径; Sauter 平均直径

[中图分类号] TF 123. 1⁺ 12

[文献标识码] A

雾化法是利用高压雾化介质如惰性气体和水使熔融金属破碎、冷凝制备金属粉末的一种方法, 它能很好地控制粉末性能, 是一种适应性最强的制取粉末的方法。雾化法生产金属粉末的过程中, 结构合理的雾化喷嘴是获得好的雾化效果的前提, 而选择合适的工艺参数是保证雾化效果的关键, 控制雾化过程的工艺参数可以得到所需要的粉末特性^[1, 2]。雾化喷嘴分限制式喷嘴和自由落体式喷嘴两种。限制式喷嘴由于气体能量损失少等优点^[1, 3] 具有较大的开发意义。

限制式雾化喷嘴的关键结构参数主要是输液管内径和外径、喷嘴突出长度、气体通道面积等。雾化过程工艺参数包括: 1) 熔融金属的性质, 如粘度、表面张力和成分; 2) 过热状态和熔融金属液流的几何条件, 如金属的流动速度、液流的长度等; 3) 喷射的几何条件, 如喷射顶角、喷嘴位置; 4) 雾化介质的性能, 如压力、质量流动速率、粘度和密度。这些参数对雾化粉末粒度会产生一定的影响。

目前, 对于雾化生产铝粉的某些参数的影响文献报道较多, 而关于锌粉方面的研究, 国内外报道极少。因为粒度是粉末特性主要参数之一, 为了研制出碱锰电池用性能优良的锌合金粉, 有必要研究雾化过程工艺参数对粉末粒度的影响, 本实验中研究了输液管直径、喷嘴突出长度、雾化压力及液锌的过热度对雾化锌粉粒度的影响。

1 实验

1.1 实验设备及材料

在自行设计的限制式雾化喷嘴和雾化装置上, 采用垂直向下喷粉的方法制备锌合金粉。这种结构的优点在于能量由气体传递熔体的均匀性和高效率, 有利于液体的破碎和雾化^[1, 3]。本实验设计的雾化喷嘴结构如图 1 所示。金属液体倒入漏包中, 通过位于漏包底部的喷嘴, 流至输液管末端遇到高压气体雾化, 急冷而成为粉末。

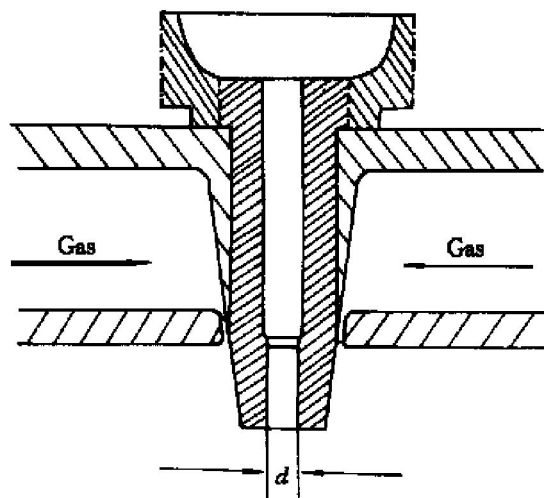


图 1 雾化喷嘴结构示意图

Fig. 1 Structure of atomization nozzle

用特一号锌作为制备锌粉的原材料, 氮气作为雾化物质。氮气通过减压装置和导气管从氮气罐进入喷嘴。雾化压力可以通过减压阀进行控制。

① [收稿日期] 2000- 11- 14; [修订日期] 2001- 02- 19

[作者简介] 陈文汨(1965-), 副教授, 博士。

1.2 雾化实验

称取一定质量的特一号锌在空气气氛下于电炉里熔化升温。电炉的温度用热电偶测量。当金属锌完全熔融且恒定在一定温度时, 打开氮气减压阀, 调节减压后氮气的压力, 当压力稳定时, 迅速将液锌倒入上部带有漏包的喷嘴中, 液锌流至输液管末端遇到氮气, 随之破碎迅速冷凝而成为粉末。为了研究参数对雾化锌粉粒度的影响, 在一定条件下, 对雾化压力、过热度、输液管内径、喷嘴突出长度等参数的影响进行实验。

1.3 筛分

所生产的锌粉利用 35, 45, 65, 80, 120, 160, 200, 250 和 300 目系列标准筛对雾化产物进行筛分, 得到一系列的筛分结果。一般用平均粒度大小即中位径 d_m , 体积平均直径 d_{vm} 和 Sauter 平均直径 d_{vs} 来表示颗粒的粗细。中位径 d_m 是筛下累积质量百分比为 50% 相对应的颗粒直径, d_{vm} 和 d_{vs} 的值可通过公式计算, 其公式为

$$d_{vm} = \frac{\sum x^{-4} dN}{\sum x^{-3} dN} = \frac{\sum x^{-4} d\phi}{\sum x^{-3} d\phi}$$

$$d_{vs} = \frac{\sum x^{-3} dN}{\sum x^{-2} dN} = \frac{\sum d\phi}{\sum \frac{d\phi}{x}} = \frac{100}{\sum \frac{d\phi}{x}}$$

式中 d_{vm} 对粉末中的粗颗粒比较敏感, d_{vs} 是相同表面积的颗粒直径, 对粉末的细颗粒比较敏感。因此采用两个参数 d_{vm} 和 d_{vs} 可以对粉末作一个全面的评估^[4]。

2 结果与讨论

2.1 雾化压力对锌粉粒度的影响

在熔锌温度为 650 °C 及其它参数一定时, 在雾化压力为 0.65, 0.50, 0.35 MPa 下, 制备锌粉并进行筛分。其结果如图 2, 3 所示。图 2 所示是质量频率-颗粒直径曲线, 其中横轴为颗粒直径, 纵轴为任意尺寸范围单位尺寸的质量百分率, 也即 $m(D_j) = M_j / (\Delta D_j M)$, D_j 为此尺寸范围粉末的平均直径, M_j 为此尺寸范围粉末的质量, ΔD_j 为粒径最大值与最小值的差值, M 为粉末的总质量。在图 2 中, 出现两条具有 3 个峰, 一条 2 个峰的曲线。在文献[4]中, 当使用限制式喷嘴向上喷粉时, 出现 2 个峰, 文献作者用两次破碎的机理进行了解释。当

$p = 0.65$ MPa 时对应的是 2 个峰的曲线, 这符合两次破碎的雾化规律。当 $p = 0.50, 0.35$ MPa 时为什么出现 3 个峰, 两次破碎的雾化机理还无法解释。图 3 所示是锌粉筛下累积百分数对粉末粒径的曲线, 其中横轴为对数坐标, 而其纵轴为概率坐标。从图 3 可以看出, 颗粒粒度的分布基本上呈直线。这说明颗粒粒度的分布服从对数-正态分布规律。这与雾化法制备粉末的一般规律相符合^[5]。同时,

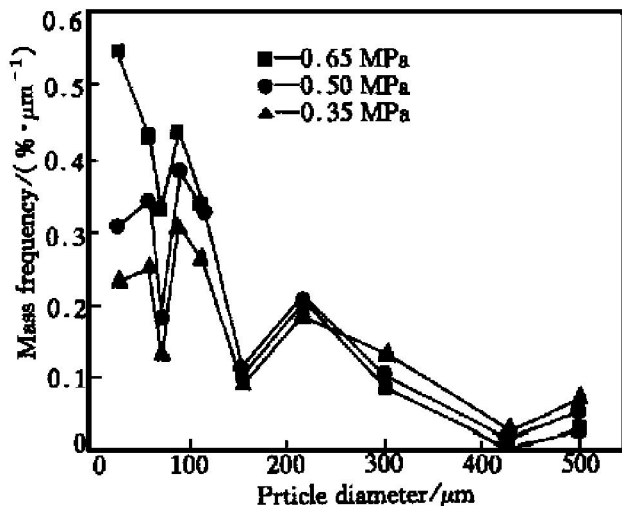


图 2 不同压力时锌粉的频率曲线

Fig. 2 Frequency curves for zinc powders under different pressures

(Molten temperature 650 °C, nozzle protrusion $h = 5$ mm, inner diameter of delivery tube end $d = 4$ mm)

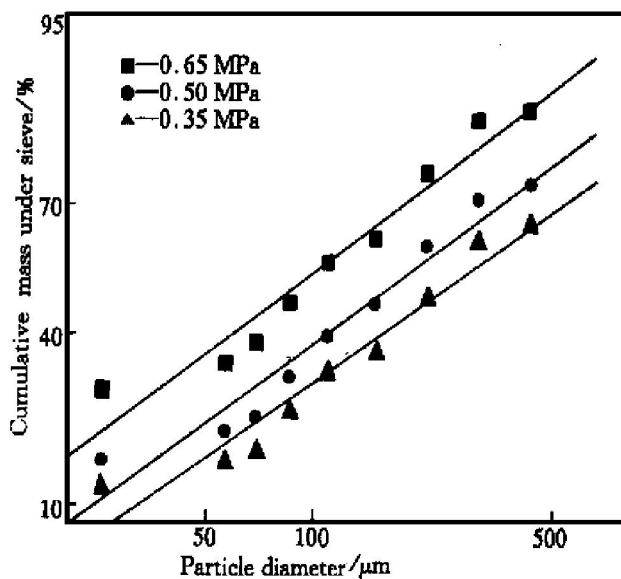


图 3 不同压力时筛下累积百分率对粒径的曲线

Fig. 3 Cumulative mass percent under sieve vs zinc powder diameters of zinc under different pressures

(Molten temperature 650 °C, nozzle protrusion $h = 5$ mm, inner diameter of delivery tube end $d = 4$ mm)

从图 3 容易看出, 当 $p = 0.65, 0.50, 0.35$ MPa 时, 相同筛下累积百分数所对应的颗粒直径依次增大, 这表明随着雾化气体的压力的增大, 锌粉颗粒减小。

$p = 0.65, 0.50, 0.35$ MPa 时 d_{vm} , d_{vs} 和 d_m 的值分别列于表 1 中, 从表 1 可以明显看出, 随着雾化气体压力的增大, d_{vm} , d_{vs} 和 d_m 的值均减小, 即锌粉颗粒越细, 这与雾化铝粉的规律一致^[6]。这是因为雾化压力越大, 用于雾化的能量越大, 熔融金属越易破碎。

表 1 雾化压力变化时锌粉颗粒尺寸

Table 1 Particle size of zinc powders under different gas pressures

p / MPa	d_{vm} / μm	d_{vs} / μm	d_m / μm
0.35	285.63	110.36	226.56
0.50	200.13	77.88	119.83
0.65	173.27	62.04	95.40

Note: molten temperature 650 °C, nozzle protrusion $h = 5$ mm, inner diameter of delivery tube end $d = 4$ mm

2.2 熔融金属的过热度对锌粉粒度的影响

当其它参数一定, 雾化压力 $p = 0.50$ MPa, 熔融温度为 550, 600, 650 和 700 °C 时, 作了熔锌的雾化实验。其筛分结果见图 4, 5。图 4 所示是质量频率-颗粒直径曲线, 与图 3 的坐标意义一样, 图 4 中全部是 3 个峰的曲线, 与两次破碎的机理相违背, 其原因还值得进一步探讨。图 5 与图 3 图形一样, 符合对数-正态分布规律。同时, 当温度为 550,

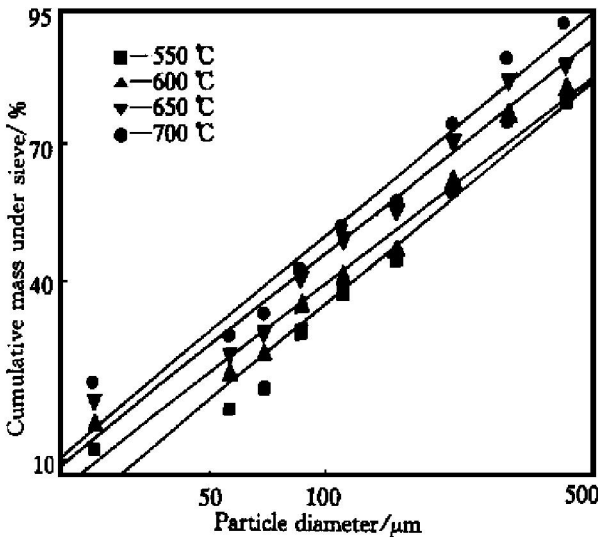


图 4 不同温度时雾化锌粉的频率曲线

Fig. 4 Frequency curves for zinc powders at different temperatures

(Gas pressure $p = 0.50$ MPa, nozzle protrusion $h = 5$ mm, inner diameter of delivery tube end $d = 4$ mm)

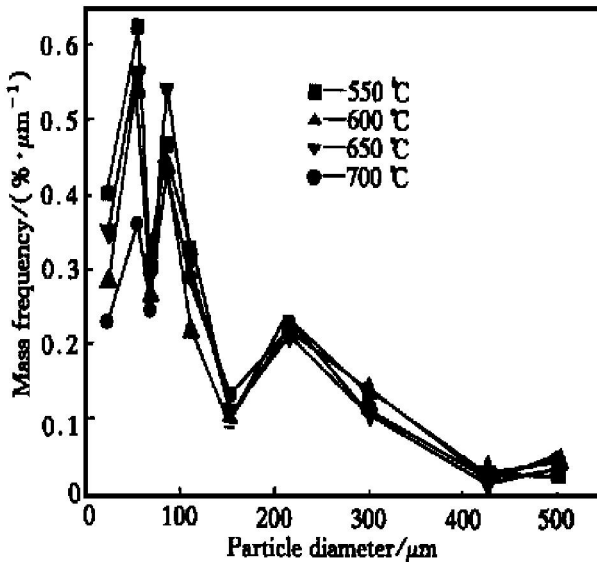


图 5 不同温度时筛下累积百分率对粒径的曲线

Fig. 5 Cumulative mass percent under sieve vs zinc particle diameters at different temperatures

(Gas pressure $p = 0.50$ MPa, nozzle protrusion $h = 5$ mm, inner diameter of delivery tube end $d = 4$ mm)

600, 650 和 700 °C 时, 在同一筛下累积百分数对应的颗粒直径是逐渐减小的。这表明熔体的过热度大对生产细的金属粉末是有利的, 这与文献报道一致^[7, 8]。

熔体温度为 550, 600, 650 和 700 °C 所对应的过热度分别为 130, 180, 230 和 280 °C。从表 2 可以知道不同过热度下 3 种平均直径的大小, 并且得出过热度越高, 锌粉颗粒越细的规律。因为熔融金属过热度越高, 粘度越小, 越易破碎, 粉末呈现越细的趋势^[7, 8]。

表 2 不同熔体温度时锌粉颗粒尺寸

Table 2 Particle size of zinc powders under different molten temperatures

Molten temperature / °C	d_{vm} / μm	d_{vs} / μm	d_m / μm
550	241.23	101.34	176.08
600	230.38	89.79	166.83
650	200.13	77.88	119.83
700	184.23	72.12	110.03

Note: gas pressure $p = 0.50$ MPa, nozzle protrusion $h = 5$ mm, inner diameter of delivery tube end $d = 4$ mm

2.3 输液管的内径对锌粉粒度的影响

熔融温度为 650 °C, 雾化压力 $p = 0.50$ MPa 及其它参数一定时, 换用 3 个不同内径输液管 (d 表示输液管出口部分内径, 其大小分别是 $d = 3.5$ mm; $d = 4.0$ mm; $d = 4.5$ mm), 6 次雾化并筛分。

结果用图 6, 7 表示。图 6, 7 分别和图 4, 5 坐标相同, 图形相似。图 6 中有 3 条 3 个峰的曲线, 对于这 3 个峰我们还无法解释。图 7 所示是筛下累积百分率对粒径的曲线, 是 3 条近似于直线的曲线。

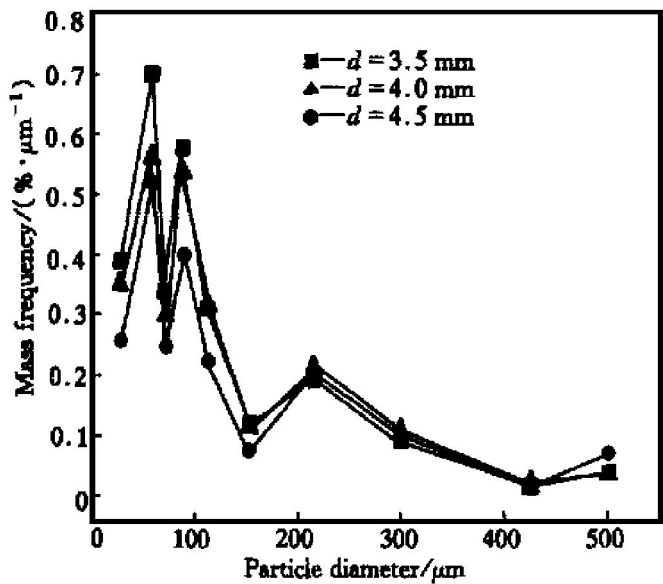


图 6 雾化锌粉的频率曲线

Fig. 6 Frequency curves for zinc powders
(Gas pressure $p = 0.50\text{ MPa}$, molten temperature $650\text{ }^{\circ}\text{C}$, nozzle protrusion $h = 5\text{ mm}$)

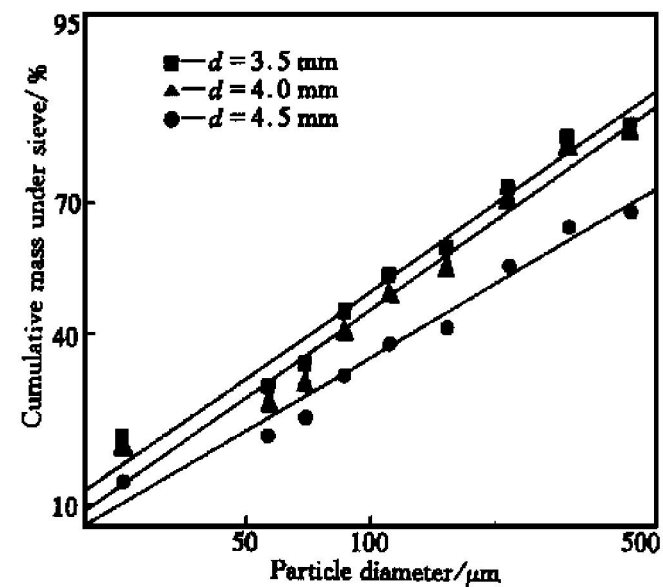


图 7 筛下累积百分率对粒径的曲线

Fig. 7 Cumulative mass percent under sieve
vs zinc powder diameters

(Gas pressure $p = 0.50\text{ MPa}$, molten temperature $650\text{ }^{\circ}\text{C}$, nozzle protrusion $h = 5\text{ mm}$)

从表 3 中易看出输液管内径越大, 颗粒越粗, 这与 Unal^[8, 9]研究的喷嘴的几何尺寸对气雾法快速冷凝铝合金粉的影响的结论一致。输液管内径越

大, 熔融金属质量流速越大, 所需雾化的能量越高。在相同的雾化压力下, 质量流速越大, 熔融金属越难破碎, 因此粉末越粗^[10, 11]。

2.4 输液管突出长度对锌粉粒度的影响

当输液管突出长度 $h = 3, 5, 8\text{ mm}$, 温度 $650\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = 0.50\text{ MPa}$, 其它参数不变时, 作了一系列的实验。其实验结果如图 8, 9 所示。

表 3 输液管内径不同时锌粉颗粒直径

Table 3 Particle size of zinc powders under different inner diameters of delivery tube end(d)

d/mm	$d_{vm}/\mu\text{m}$	$d_{vs}/\mu\text{m}$	$d_m/\mu\text{m}$
3.5	185.15	71.87	98.84
4.0	200.13	77.88	119.83
4.5	261.48	97.36	187.80

Note: gas pressure $p = 0.50\text{ MPa}$, molten temperature $650\text{ }^{\circ}\text{C}$, nozzle protrusion $h = 5\text{ mm}$

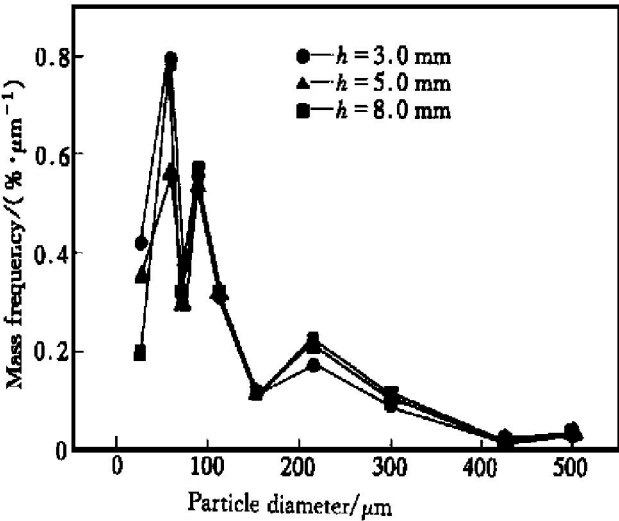


图 8 雾化锌粉的频率曲线

Fig. 8 Frequency curves for zinc powders
(Gas pressure $p = 0.50\text{ MPa}$, molten temperature $650\text{ }^{\circ}\text{C}$, inner diameter of delivery tube end $d = 4\text{ mm}$)

从表 4 可以知道, 当 $h = 3, 5$ 和 8 mm 时所对应的 d_{vm} , d_{vs} 和 d_m 的值呈现依次增大的趋势, 这说明喷嘴突出长度越长, 锌粉颗粒越粗, 从图 9 也可以看出这个规律。出现这种规律的原因, 可能是随着输液管突出长度的增加, 雾化气体到达熔融金属的距离越长, 因此能量损失越大^[12, 13]。

2.5 喷嘴结构和雾化工艺参数对锌粉粒度影响程度的比较

从表1, 表2, 表3和表4中一系列锌粉颗粒直径的大小比较, 可以得出 d_{Vm} , d_{Vs} 和 d_m 值的变化规律, 同时发现, 雾化压力对颗粒尺寸的影响最大, 输液管内径对颗粒尺寸的影响较大, 喷嘴突出长度对颗粒尺寸的影响较小, 液锌的过热度对颗粒尺寸的影响最小。由此推知, 在生产一定颗粒大小的锌粉时, 最关键的是选择适当的雾化压力、输液管内径和喷嘴突出长度。

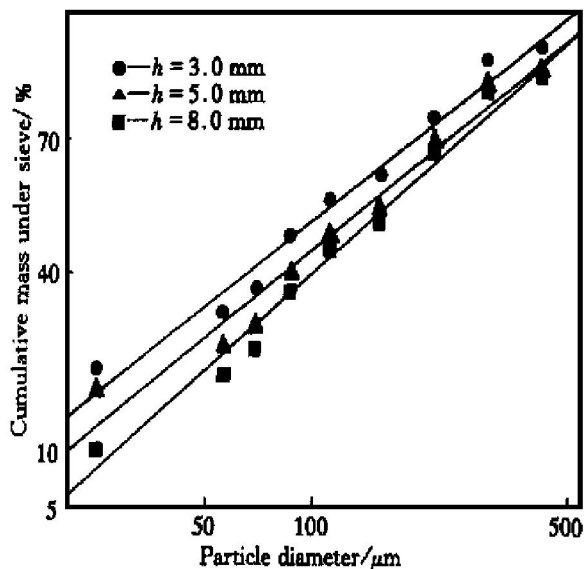


图9 筛下累积百分率对粒径的曲线

Fig. 9 Cumulative mass percent under sieve vs zinc powder diameters

(Gas pressure $p = 0.50$ MPa, molten temperature 650 °C, inner diameter of delivery tube end $d = 4$ mm)

表4 喷嘴突出长度不同时锌粉颗粒直径

Table 4 Particle size of zinc powders under different nozzle protrusions

Nozzle protrusion/mm	$d_{Vm}/\mu\text{m}$	$d_{Vs}/\mu\text{m}$	$d_m/\mu\text{m}$
3	175.76	67.91	91.96
5	200.13	77.88	119.83
8	212.02	94.19	140.16

Note: gas pressure $p = 0.50$ MPa, molten temperature 650 °C, inner diameter of delivery tube end $d = 4$ mm

3 结论

研究了输液管内径、喷嘴突出长度、雾化压力和液锌的过热度对雾化锌粉粒度的影响。实验发现, 颗粒粒度的分布服从对数-正态分布规律。在一定的条件下, 输液管内径越大, 喷嘴突出长度越长, 雾化锌合金粉 d_{Vm} , d_{Vs} 和 d_m 的值依次增大, 即随着输液管内径和喷嘴突出长度的增大, 颗粒越粗; 雾化压力越大, 液锌的过热度越高, 雾化锌合

金粉 d_{Vm} , d_{Vs} 和 d_m 的值依次增大, 即随着雾化压力和液锌的过热度的增大, 雾化锌合金粉颗粒越细。

[REFERENCES]

- [1] DING Guo-lu (丁国陆). 铝合金低压气雾化技术研究 [J]. Powder Metallurgy (粉末冶金技术), 1996, 14 (5): 96.
- [2] Raman R R. Process to increase the yield of the fines in gas atomized powder [P]. US 4778516, 1992.
- [3] Unal A. Influence of gas flow on performance of confined atomization nozzles [J]. Metallurgical Transaction, 1989, 20B(12): 833.
- [4] Unal A. Gas atomization of fine zinc powders [J]. The International Journal of Powder Metallurgy, 1990, 26 (1): 11.
- [5] Unal A. Production of rapidly solidified aluminum alloy powders by gas atomization and their applications [J]. Powder Metallurgy, 1990, 33(1): 53.
- [6] Dunkley J J, Palmer J D. Factors affecting particle size of atomized metal powder [J]. Powder Metallurgy, 1986, 29(4): 287.
- [7] Ozbilen S, Unal A, Sheppard T. Influence of superheat on particle shape and size of gas atomized copper powders [J]. Powder Metallurgy, 1991, 34(1): 53.
- [8] Unal A. Influence of nozzle geometry in gas atomization of rapidly solidified aluminum alloys [J]. Materials Science and Technology, 1988, 4(10): 909.
- [9] Unal A. Effect of processing variables on particle size in gas atomization of rapidly solidified aluminum powders [J]. Materials Science and Technology, 1987, 12(3): 1029.
- [10] Usilan I, Saritas S, Davies T J. Effects of variables on size and characteristics of gas atomized aluminium powders [J]. Powder Metallurgy, 1999, 42(2): 157.
- [11] YUAN Wu-hua, CHEN Zhen-hua, HUANG Pei-yun. Preparation of heat-resistant aluminum alloy pipe blanks by multilayer spray deposition [J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2000, 10(4): 461-464.
- [12] Chidambaran Subramanian, Prabhat Mishra, Ashok K Suri. Reproduction of fine metal powders using a confined low pressure nozzle [J]. The International Journal of Powder Metallurgy, 1995, 31(2): 137.
- [13] YAN Hong-ge, CHEN Zhen-hua, KANG Zhi-tao, et al. Formation regularity of phases in nanometer powder of Al-Fe alloy prepared by gas evaporation [J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2000, 10(5): 653-655.

Effects of structure of nozzle and processing parameters on particle size of zinc powders in gas atomization

CHEN Wen-mi, WAN Xin-hua

(Department of Metallurgical Science and Engineering, Central South University,
Changsha 410083, P. R. China)

[Abstract] On an atomization equipment with confined type nozzle, the influence of the diameter of inner delivery tube, protrusion of nozzle, gas pressure and superheat of molten zinc on particle size of zinc powders has been studied. Zinc powders were sieved, the sizes and size distribution of zinc powders were analyzed. There is a wide range of particle sizes which approximate the log-normal distribution law. The particle mean diameters, volume mean diameters and Sauter mean diameters of powders increase with diameter of inner delivery tube and nozzle protrusion, and decreases with gas pressure and superheat of molten zinc. In other words, the particle size increases with diameter of inner delivery tube and nozzle protrusion and decrease with gas pressure and superheat of molten zinc.

[Key words] confined type nozzle; atomized zinc powder; mean diameter; volume mean diameter; Sauter mean diameter

(编辑 龙怀中)