

高铝锌基合金粉末的制备及其组织与性能^①

李元元 张大童 罗俊明 肖志瑜

(华南理工大学机电工程系, 广州 510641)

摘 要 研究了高铝锌基合金粉末的制备工艺及其组织与性能。采用了水雾化法和离心雾化法两种工艺制备合金粉末, 并比较了两种粉末的粒度组成、松装密度、流动性及显微硬度。离心雾化粉为近似的球形, 水雾化粉为不规则的多角形。两种粉末的金相组织均为很细小的树枝晶。与同类铸造合金的金相组织相比, 它们的枝晶臂间距大大减小。

关键词 高铝锌基合金 水雾化 离心雾化

高铝锌基合金是一种具有良好综合性能的新型工程合金, 近十余年来被广泛应用于轴承、轴瓦、轴套等减摩耐磨零件上。对于它的生产工艺, 除了常规铸造以外, 近年来人们开始研究喷雾沉积^[1]、复合材料^[2]等新工艺在此类合金上的应用, 以期拓展其应用范围, 并取得了一些进展。但是, 采用粉末冶金技术制备和生产这种合金至今仍未见报道。

一般来说, 高合金粉末冶金材料的性能比熔铸法生产的好^[3]。用离心雾化等快速凝固工艺制粉过程中有极大的冷速, 从而使溶质分配系数增大, 避免了成分偏析, 保证合金具有均匀的组织与稳定的性能。同时这种工艺使合金具有细晶粒组织, 从而使其制品的机械性能得以提高。此外, 粉末冶金工艺可以通过精确控制材料组分、添加剂和孔隙度, 从而控制和调节制品的各种性能, 且无切屑损失, 材料利用率高, 这些优点使烧结金属轴承材料的应用在现有的轴承材料中占有很重要的地位^[4]。另一方面, 因在铸造条件下, 这种合金的高温性能较差, 限制了它的应用, 而快速凝固技术的发展和应用于大幅度提高这种合金高温强度提供了一种崭新的技术手段^[5]。因此, 对高铝锌基合金在粉末冶金方面的应用进行探索和研究是很有意义的。作为研究的第一步, 我们对其粉

末的制备及其组织与性能进行了试验研究。

1 实验方法及过程

1.1 制粉

制粉采用了水雾化和离心雾化两种工艺。实验中使用的 ZMJ 合金是以 ZA27 合金为基本成分, 通过加入适量的 Mn、RE、Ti、Ni、B 等元素研制的新型锌基轴承合金, 它的常温、高温性能与 ZA27 合金相比均有较大的提高^[6]。母合金在真空感应炉中熔制, Mn、RE、Ti、Ni、B 等元素以中间合金形式加入, 其化学成分(%)为 26~29Al, 2.0~2.5Cu, 0.03~0.06Mg、Mn、RE、B、Ti、Ni 适量、Zn 余量。雾化温度为 550~600℃。水雾化法喷射水压为 6 MPa, 离心雾化法中喷射气体压力为 1 MPa, 圆盘转速 4 000 r/min。

1.2 粉末性能测试

用筛分法测量粉末的粒度组成。根据现行的《金属粉末粒度组成的测定—干筛分法》的标准选定一套筛子, 称取样品 100 g, 上部加盖, 下部加底盘, 在振筛机上振动 15 min, 依次称量各级筛上的粉末。测三次取平均值。

用漏斗法测量粉末松装密度, 粉末从漏斗孔在一定的高度自由落下充满圆柱杯, 刮平后

① 广东省自然科学基金资助项目 收稿日期: 1995-05-15; 修回日期: 1995-07-24

称重。用杯的规定容积去除粉末重量就得到了松装密度。

1.3 粉末颗粒形状和粉末金相观察

将少量粉末均匀地撒在试样台上，喷金，然后在扫描电镜下观察，拍照。将粉末用适当的压力压成直径 12 mm 高 15 mm 的圆柱试样，磨平，抛光，腐蚀后在金相显微镜下观察，拍照。腐蚀液为 $32\text{ g CrO}_3 + 2\text{ g Na}_2\text{SO}_4 + 100\text{ mL H}_2\text{O}$ 。并用 MICRO-DUROMAT4000 显微硬度仪测量两种粉末的显微硬度。载荷 30 g，加载时间 15 s，加载速率 20 p/s。

1.4 用特定的压制烧结方法制备粉冶金试样

初步的摩擦磨损试验表明，粉末冶金试样的摩擦系数、磨损率和润滑油温升均小于常规铸造试样，这将在另文中讨论。

2 试验结果分析

本试验粉末的性能列于表 1 至表 3，粉末的形貌如图 1 所示，粉末的金相组织和铸造试样金相组织的比较如图 2 所示。

按以上制粉参数得到的 ZMJ 合金粉末，离心雾化粉比水雾化粉细。离心雾化粉通过 325 目筛(45 μm)的粉末占总量的 54.8%，而水雾化粉仅为 9.3%。离心雾化粉为近似的球

表 1 两种粉末的粒度组成			
筛孔尺寸 范围/μm	筛分量/g		
	水雾化粉	离心雾化粉	
>154	<0.1	<0.2	
<=154	>90	52.5	4.8
<=90	>62	25.5	14.5
<=62	>50	5.0	6.5
<=50	>45	7.5	18.5
	<45	9.3	54.8
总量	100	100	
试样量	99.9	99.3	
损失量	0.1	0.7	

表 2 两种粉末的松装密度 (g/cm ³)		
实验次数	水雾化粉	离心雾化粉
1	3.04	3.44
2	3.09	3.47
3	3.07	3.53
平均	3.07	3.48

注：离心雾化粉不能通过 d 2.5 的漏斗，换用 d 5 的漏斗。

表 3 两种粉末的显微硬度 (30 g, 15 s, 20 p/s)		
试验次数	水雾化粉	离心雾化粉
1	78.8	35.2
2	78.6	33.5
3	79.6	34.8
平均	79.0	34.5

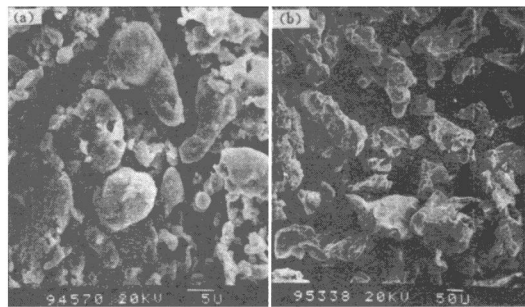


图 1 两种粉末的颗粒形貌
(a) 离心雾化粉，× 1 000；(b) 水雾化粉，× 60

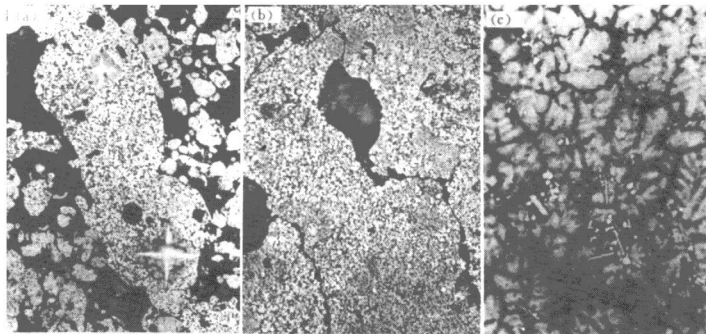


图2 两种粉末及铸造试样的金相组织

(a)—离心雾化粉, $\times 500$; (b)—水雾化粉, $\times 500$; (c)—铸造试样金相组织 $\times 100$

形,水雾化粉为粗糙的多角形。粉末颗粒的形状受液滴凝固时的冷却过程及液滴形成条件的影响^[4]。不论是水雾化还是离心雾化,它们的制粉机理都是通过外力作用于金属液流使之分散为细小液滴,然后冷却凝结成粉末。水雾化法是用高速水流冲击金属液流使其雾化,离心雾化法则是用高速旋转的圆盘击溃金属液流,再由高速气流淬冷。被雾化的金属小液滴在表面张力的作用下趋于球形,由于水的粘度高,它和液滴的相互作用力大,液滴的变形较为严重;同时,由于冷速快,表面张力作用时间短,液滴来不及充分球形化,故水雾化粉呈不规则的多角形。在离心雾化过程中小液滴从旋转盘飞出以后在氮气中冷却,与水雾化相比变形较小,形状为近球形;但是由于离心力的作用可能有“尾巴”(图1)。

离心雾化粉的松装密度大于水雾化粉,流动性不及水雾化粉。粉末的松装密度是与形状、粒度、颗粒密度有关的一项综合性质。颗粒的形状越规则,孔隙度越低,松装密度越高。由于细粉末的表面积大,具有更高的表面能,容易形成“拱桥”和相互吸附,妨碍粉末的移动,流动性不及粗粉好。

离心雾化粉和水雾化粉的金相组织均为很细小的树枝晶,其晶粒尺寸比铸造的小得多。参考 Zn-Al-Cu 三元相图^[8],ZMJ 常规铸造组织(图2c)为呈枝晶状的 α 固溶体(图中为白色)和分布于枝晶间的二元共晶($\alpha + \beta$)及少量的三元共晶($\alpha + \beta + \epsilon$)(图中为黑色网状)以及弥散分布的金属间化合物,其中白亮块状物为含 Mn、Ti、RE 的金属化合物,其显微硬度较高,为硬化相^[6]。在粉末金相中已没有这些相的存在。在雾化制粉过程中,金属液被分散为细小的液滴,从而可以获得极高的冷却速率(水雾化 $10^2 \sim 10^4$ $^{\circ}\text{C}/\text{s}$,离心雾化 10^4 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$,而常规铸造仅为 $0.001 \sim 10$ $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ^[7]),这样可以萌生更多的晶核,且生长时间极短,导致晶粒尺寸和枝晶臂间距缩小。此外,极大的冷速也大幅度地提高了溶质元素的固溶度^[7,9],从而使 Mn、Ti、RE 等元素固溶于基体中而不形成金属化合物。两种粉末的显微硬度相差较大(显微硬度的压痕如图2(a)所示),这与粉末的含氧量,制粉过程中的实际冷速有关,具体影响程度尚待进一步研究。根据实验结果,ZMJ 的离心雾化粉末的松装密度大,颗粒细小,其

(下转 82 页)

$g_1 \neq g_2 \neq 0$ 显示, 1100 铝板的两种各向异性性质是不同步的。不考虑这一点、亦即应用原有的屈服函数时, 在用塑流应力确定材料常数的情况下, 其预测的塑性应变比必与实际的不尽符合; 反之则是塑流应力与实际的不符, 如表 2 所示。0、45、90° 以外的性能自然也是不尽符合了。

表 2 屈服函数描述准确度对比

序号	σ_{45}/σ_0	σ_{90}/σ_0	σ_{90}/σ_0	r_0
I	0.945	1.055	1.098	0.77
II	0.945	1.055	1.098	0.78
III	0.859	0.985	1.044	0.77
试验值	0.945	1.055	1.098	0.77
序号	r_{45}	r_{90}	σ_{p1}/σ_0	σ_{p2}/σ_0
I	1.08	0.75	1.185	1.219
II	1.08	0.85	1.180	1.226
III	1.08	0.75	1.155	1.142
试验值	1.08	0.75	1.217	1.272

表 2 中的 σ_{p1} 、 σ_{p2} 分别表示沿板材轧向或横向单向拉伸, 而试件宽度变形 $d\epsilon_y = 0$ 或 $d\epsilon_x = 0$ 时的塑流应力, 习称平面应变塑流应力。

应用已知的材料常数预测这两种塑流应力的计算方法可参见[2]。可以看到, 采用式(2)预测的结果依然是较好的。

4 结论

(1) 材料的屈服性能的各向异性与变形性能的各向异性不一定完全同步, 宜分别考虑。

(2) 本文建立的屈服函数式(2)是可用的, 能全面地拟合板材的基本性能、将上述的两种各向异性都反映出来。

参考文献

- 1 Hill R. Int J Mech Sci, 1993, 35: 19—25.
- 2 Zhou Weixian. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 1994, 4(2): 37—41.
- 3 Hill R. In: Math Proc Camb Phil Soc, 1979, 85: 179—191.
- 4 Montheillet F *et al.* Int J Mech Sci, 1991, 33: 197—209.

(编辑 李 军)

(上接 78 页) 烧结试样的性能比水雾化的好。初步的摩擦磨损试验表明, 粉末冷压烧结试样的耐磨性比常规铸造试样的高 30% 以上。

3 结论

(1) 用离心雾化法制得的 ZMJ 合金粉末比水雾化法制得的细, 离心雾化粉末形状为近似的球形, 水雾化粉末为不规则的多角形。

(2) 离心雾化粉的松装密度大于水雾化粉, 流动性不及水雾化粉。

(3) 两种粉末的金相组织均为很细小的树枝晶。与铸造组织相比其枝晶间距大大减小。

(4) 快速冷却大幅度提高了溶质元素固溶度, 使常规铸造条件下形成的金属间化合物受到抑制, 基体相的固溶强化作用得到加强。

参考文献

- 1 杨留栓, 庞礼军, 杨根仓, 周尧和. 金属学报, 1995, 31(6): A254.
- 2 朱和祥等. 材料导报, 1994, (1): 62.
- 3 黄培云. 粉末冶金原理. 北京: 冶金工业出版社, 1982.
- 4 韩凤麟. 粉末冶金机械零件. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- 5 杨留栓, 杨根仓, 周尧和. 材料导报, 1994, (3): 15.
- 6 Li Yuanyuan *et al.* In: AMPT'93 International Conference, Dublin, Ireland, 1993, V. 1: 603.
- 7 李月珠. 快速凝固技术和材料. 北京: 国防工业出版社, 1993.
- 8 李隆盛. 铸造合金及熔炼. 北京: 机械工业出版社, 1989.
- 9 Grant Nicholas J. Journal of Metals, 1983, (1): 21.

(编辑 彭超群)