

高铝锌基合金粉末冶金材料 及其摩擦学特性初探^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)

张 文 温利平 罗宗强

(广东华金合金材料实业有限公司, 广州 510641)

摘 要 初步研究了高铝锌基合金的粉末冶金工艺及其材料的摩擦磨损性能。通过气喷气冷法制取合金粉末, 用压制后真空烧结的方法制备高铝锌基合金粉末冶金材料。实验结果表明, 高铝锌基合金的粉末冶金试样在干摩擦和油润滑条件下的磨损率及摩擦系数均小于同一合金的铸造试样, 但其压溃强度有待提高。在实验的基础上还探讨了该材料的耐磨减摩机理。

关键词 高铝锌基合金 粉末冶金 摩擦 磨损

高铝锌基合金以其良好的综合力学性能及耐磨减摩性能而被广泛用于制造中低速、重载条件下工作的减摩耐磨零件, 如轴承、轴瓦、轴套等。同时, 由于铜、锡价格昂贵, 从成本考虑, 高铝锌基合金也是铜合金、巴氏合金等传统减摩耐磨材料的理想替代品。在 ZA 系列合金中, 以 ZA27 合金的摩擦磨损性能最好, 得到了广泛的应用^[1]。

但是 ZA 合金由于自身的熔点较低, 因而高温性能较差。随着温度的升高, ZA 合金的强度急剧下降^[2]。而摩擦过程中摩擦件温度不可避免地要升高, 因此 ZA 合金的应用范围受到了限制。通常 ZA27 合金允许的最大滑动速度不超过 7.1 m/s, 最高工作温度低于 150 °C^[3]。

拓宽 ZA 合金的应用范围的关键在于提高其高温强度。国内外已有学者从合金化^[4]、锌基复合材料^[5]、雾化沉积^[6]等方面进行了研究并取得了一定的进展。近 10 年来发展起来的快速凝固技术能生产出晶粒细, 偏析少, 过饱和固溶的材料^[7], 为提高高铝锌基合金的高温

强度提供了一条新途径。而粉末冶金工艺可以根据零件的使用条件来设计合金成分、加入添加物、控制制品的孔隙度, 对生产减摩耐磨材料来说具有优越性。关于高铝锌基合金粉末冶金的研究至今很少见诸报道, 本文在这方面进行了初步探讨。

1 实验过程及实验方法

试验分为制粉、混粉、压制、烧结和测试 5 个步骤。试验中使用的 ZM 合金是作者以 ZA27 合金为基本成分, 加入适量的 Mn、RE、Ti、Ni、B 等元素而研制的新型轴承合金, 它的常温、高温力学性能和摩擦磨损性能与 ZA27 合金比较均有较大的提高^[8]。

用气喷气冷法制取 ZM 合金粉末, 雾化和冷却介质均为 N₂。为了改进粉末的烧结性能, 混粉时加入适量有利于合金烧结及自润滑的组元, 分别以代号 a 和 b 表示。混粉时间 1 h。压制比压为 900 MPa, 分别压制磨损试样和压溃

① 广东省自然科学基金资助项目 收稿日期: 1995- 11- 21; 修回日期: 1996- 04- 25 李元元, 男, 38 岁, 教授, 硕士

试样。磨损试样尺寸为 $d\ 12\text{mm}\times 15\text{mm}$ ，其相对密度控制在 $85\%\pm 1.0\%$ ；压溃试样为外径 30.2mm 、内径 26mm 、高 18mm 的圆筒，其相对密度控制在 $77.5\%\pm 1.5\%$ 。在真空炉中烧结，烧结温度为 $380\sim 420\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

在快速磨损试验机和 MM200 摩擦试验机上测试试样的摩擦磨损性能。快速磨损试验采用柱-环式滑动摩擦，试样尺寸为 $d\ 12\text{mm}\times 15\text{mm}$ ，对偶件为 Cr₁₂钢环(HRC 52~ 54)，工作原理如图 1。用 WA 蜗轮蜗杆油线滴润滑，并用温度计测量油温，每 5 min 读数 1 次。滑动线速度为 53.16 m/min ，作用在试样上的载荷为 686 N 。对磨 0.5 h 后卸下试样，用读数显微镜测量磨痕宽度，计算出磨损体积、磨损率和平均比压。

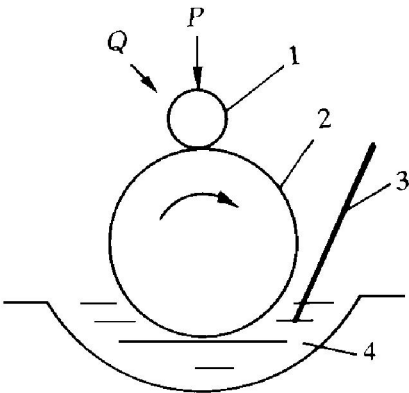


图 1 快速磨损试验原理图

1—试样；2—对偶件；3—温度计；
4—润滑油；P—载荷；Q—滴油处

在 MM200 型摩擦磨损试验机上测量试样在油润滑和干摩擦状态下的摩擦系数。摩擦副接触形式为线接触，试样固定，对偶件旋转。试样加工成 $10\text{mm}\times 10\text{mm}\times 10\text{mm}$ 的立方体，对偶件为 GCr₁₅钢环(HRC 52~ 54)，外径 $46.5\pm 0.5\text{ mm}$ ，内径 16 mm ，厚度 10 mm 。试验机转速 400 r/min 。干摩擦试验载荷 147 N ，每隔 5 min 记下摩擦力矩，用公式计算出动摩擦系数。油摩擦试验采用滴油润滑， $50\sim 60\text{ 滴/min}$ ，载荷 294 N 。每隔 20 min 记下摩擦力矩，算出动摩擦系数。

本文所有试验结果数值均为 3 个以上试样

的平均值。

2 实验结果

ZM 合金粉末的化学成分见表 1。

表 1 ZM 合金粉末化学成分 (%)

元素	Al	Cu	Mg	Mn
成分	26~ 29	2.0~ 2.5	0.03~ 0.06	适量
元素	R E	B	Ti	Zn
成分	适量	适量	适量	适量

ZM 合金粉末性能见表 2。

表 2 ZM 合金粉末性能

指标	数值
松装密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	3.480
流动性/ $\text{s}\cdot(50\text{ g})^{-1}$	34.830
平均粒径/ μm	58.022
颗粒形貌	近球形

试验中混粉方案及压制烧结后试样的力学性能见表 3。

表 3 混粉比例(%)及压制烧结后试样的力学性能

编号	a /%	b /%	硬脂酸锌	ZM 粉	硬度 /HB	基体显微硬度/HV	压溃强度 /MPa
1	-	-	0.1	余量	64.5	-	30
2	5	-	0.1	余量	55	-	36.5
3	5	5	0.1	余量	60	59.2	32
4	10	-	0.1	余量	62	60.4	35
5*	-	-	-	-	110	46.5	600~ 690

注：(1) 表中宏观硬度值和显微硬度值是用磨损试样测定的，其孔隙度为 $15\%\pm 1.0\%$ ；压溃强度是在压溃试样上测定的，其孔隙度为 $22.5\%\pm 1.5\%$ ，故数值偏低。
(2) 5* 为 ZM 合金铸造试样。

压制烧结后试样的快速磨损试验结果见表 4，润滑油温度变化曲线见图 2(试验中室温为 $28\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$)。

表 4 快速磨损试验结果

编号	磨损体积 / mm^3	磨损率 / $10^{-9}\cdot\text{mm}^3(\text{N}\cdot\text{m})^{-1}$	平均比压 /MPa
1	9.08	8.55	20.17
2	8.50	8.04	20.74
3	6.14	5.64	23.03
4	5.90	5.42	23.27
5*	24.34	22.32	15.50

注：5* 为 ZM 合金铸造试样

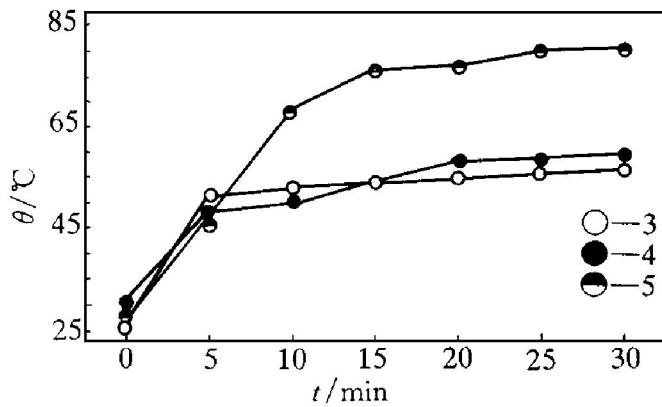


图2 快速磨损试验油温变化图

(1、2号与3、4号试样试验结果接近, 故略)

采用快速磨损试验结果较为理想的3号、4号试样与铸造试样(5号)在MM200型摩擦磨损试验机上进行下一步试验, 干摩擦和有润滑状态下的摩擦系数曲线分别见图3和图4。

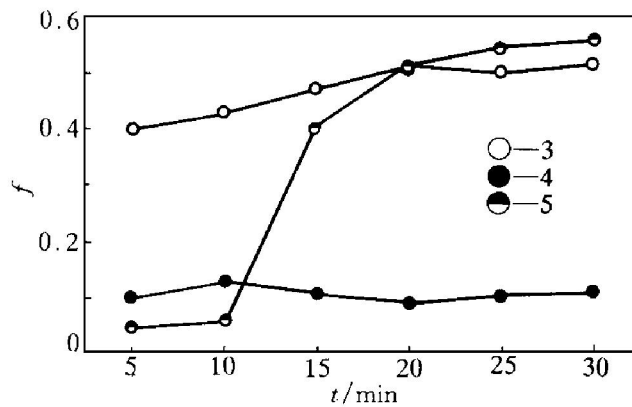


图3 MM200 干摩擦试验摩擦系数曲线

3 分析与讨论

3.1 快速磨损试验结果分析与讨论

从快速磨损试验结果可以看出, ZM 合金粉末冶金试样的润滑油温升、磨损体积、平均磨损率均小于同一合金的铸造试样, 承受的平均比压大于铸造试样。由图2可以看出, 粉末冶金试样在最初5 min 温度升高很快, 然后趋于稳定, 而铸造试样需要10 min 温度变化才趋于稳定。粉末冶金和铸造试样摩擦表面均有许多平行于滑动方向的犁沟, 能谱分析表明摩擦

表面有大量的铁存在。而摩擦面之间存在着金属转移是粘着磨损的典型特征^[9], 因此两者的主要磨损形式均为犁削和粘着。铸造试样的摩擦面还有明显的塑性堆积现象, 见图5。铸造试样和粉末冶金试样的金相组织见图6。铸造的金相组织特征为软基体上弥散分布着硬化相, 主要由硬质点相承受载荷。当载荷很高时, 摩擦副间的接触凸点发生塑性变形, 引起相对滑动, 使较软一边(ZM 试样)的凸点被剪断。粉末冶金试样的金相组织为细小的树枝晶。制粉过程中的冷速很大, 使Cu、Mn、RE、Ti、Ni、B等合金元素固溶于基体中而使基体相得到强化。从表3可以看出, 粉末冶金试样基体相的显微硬度高于铸造试样的基体相。组元a在粉末冶金试样中既不形成固溶体, 也不形成化合物, 而是以独立的相存在, 有一定的润滑作用。同时粉末冶金试样具有一定数量的孔隙可以储存润滑油, 在载荷较高、不能形成润滑油膜时, 油从孔隙中渗出改善摩擦面的润滑状态, 由此可见粉末冶金试样的自润滑性比铸造试样好得多, 故它的摩擦和磨损不如铸造试样剧烈。

3.2 MM200 干摩擦试验结果分析与讨论

从图3可以看出: 含10% a 的粉末冶金试样(试样4)的干摩擦系数比铸造试样小得多, 而含5% a 和5% b 的粉末冶金试样(试样3)的干摩擦系数与铸造试样相当。原因是烧结后有相当一部分b组元仍以独立相存在, 它的硬度

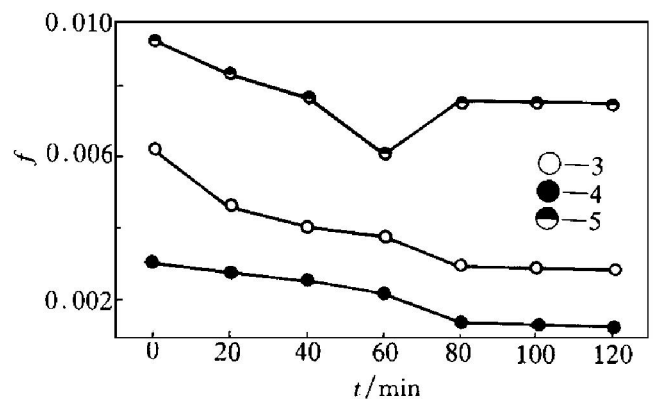


图4 MM200 有润滑摩擦系数曲线

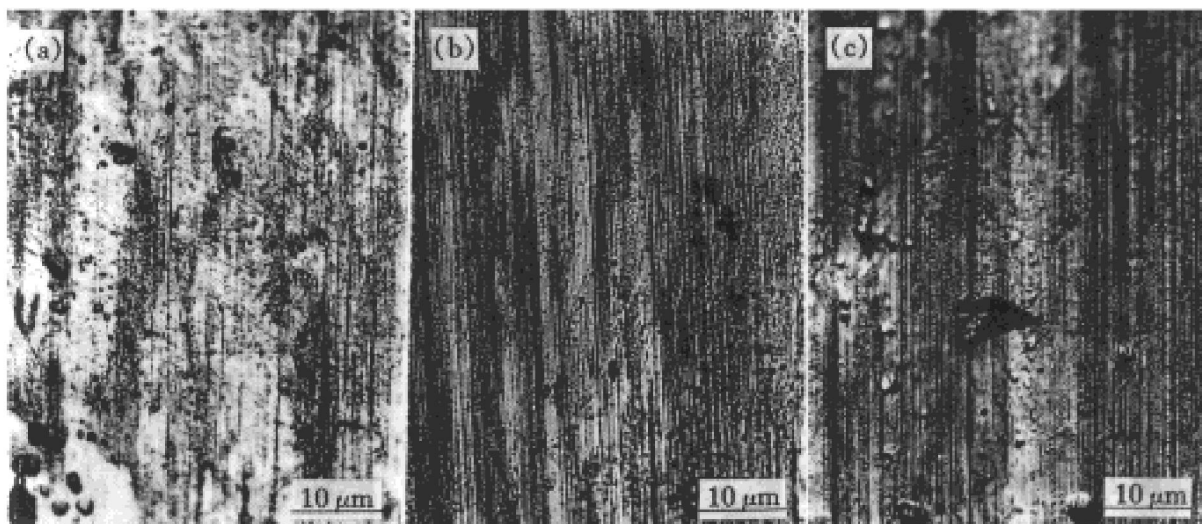


图5 快速磨损试验试样的摩擦面形貌

(a) 一试样 3; (b) 一试样 4; (c) 一试样 5

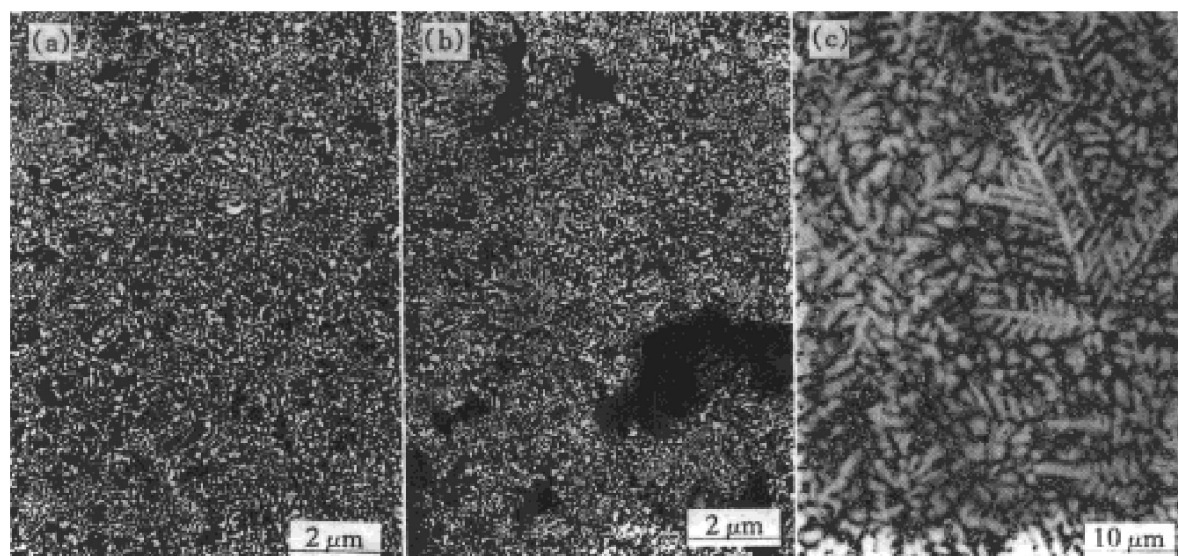


图6 铸造和粉末冶金金相组织

(a) 一试样 3; (b) 一试样 4; (c) 一试样 5

较高, 摩擦过程中脱落形成磨粒, 加剧了磨损。试验中发现, 试样的磨面已部分变黑, 这是由于摩擦面温度很高, 引起了表面氧化所致。在干摩擦条件下, 试样 3 和铸造试样的磨损较剧烈, 从摩擦面形貌来看它是犁削、粘着、氧化、疲劳裂纹扩展和剥落等综合作用的结果; 而试样 4 的主要磨损机制为犁削、粘着和氧化。

3.3 有润滑摩擦试验结果的分析与讨论

由图 4 可以看出, 在油润滑状态下, 铸造试样的摩擦系数大约为粉末冶金试样的 2~3

倍。这说明粉末冶金试样的减摩性优于铸造试样。在润滑油补充较充分的情况下, 摩擦面覆盖着一层油膜, 改变了摩擦副的接触状态, 同时润滑油吸收摩擦热而使试样温度大大降低, 避免了粘着的发生, 此时粉末冶金试样和铸造试样的摩擦机制均为犁削, 犁沟平行于滑动方向且较浅。

3.4 力学性能

粉末冶金试样的孔隙度为 15% 左右时, 硬度可达 HB60; 压溃强度受混粉比例影响不大, 但受孔隙度影响较大。本实验中粉末冶金试样

的压溃强度偏低(仅为 30~ 35 MPa), 与压溃试样的孔隙度偏高(为 22.5% $\pm$ 1.5%)有关。在保证 ZM 合金粉末冶金材料摩擦磨损性能良好的前提下, 可通过适当降低粉末冶金试样的孔隙度, 进一步提高其力学性能, 特别是压溃强度。

4 结论

(1) ZM 粉末由于制粉过程中的快速冷却而使晶粒细化, 基体相强化。

(2) 在油润滑状态下, ZM 粉末冶金试样的耐磨、减摩性和温升特性优于铸造试样。

(3) 在干摩擦状态下, 含 10% a 的粉冶金试样的摩擦系数远小于铸造试样。在油润滑条件下, 合金的粉末冶金试样的减摩性明显优于铸造试样。

(4) ZM 粉末冶金试样的基体显微硬度较

高, 而布氏硬度和压溃强度受试样孔隙度影响较大, 适当降低孔隙度, 可进一步提高其力学性能, 尤其是压溃强度。

参考文献

- 1 朱和祥, 刘世楷. 材料导报, 1994, 1: 62.
- 2 杨留铨, 杨根仓, 周尧和等. 材料导报, 1994, 3: 13.
- 3 Samuel Murphy, Teme Savaskan. Wear, 1984, 98: 151–161.
- 4 李元元, 罗俊明, 邓灿坤等. 广州机电, 1992, 1: 10.
- 5 于思荣, 何镇明, 刘耀辉. 特种铸造及有色合金, 1994, 4: 20.
- 6 杨留铨, 庞礼军, 杨根仓等. 金属学报, 1995, 31(6): A254.
- 7 李月珠. 快速凝固技术和材料. 北京: 国防工业出版社, 1993:
- 8 Li Y Y, Luo J M, Luo Z Q *et al.* Journal of Materials Processing Technology, 1995, 55: 154–161.
- 9 刘家浚. 材料磨损原理及其耐磨性. 北京: 清华大学出版社, 1993:

P/M HIGH ALUMINIUM-ZINC ALLOY MATERIAL AND ITS TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS

Li Yuanyuan, Zhang Datong, Luo Junming, Xiao Zhiyu

Department of Mechanical and Electrical Engineering,

South China University of Technology, Guangzhou 510641

Zhang Wen, Wen Liping, Luo Zhongqiang

Guangdong Hua Jin Alloys and Advanced Materials Industries Co., Ltd, Guangzhou 510641

ABSTRACT The powder metallurgy of high aluminium-zinc alloy and its tribological characteristics have been studied. The alloy powder was produced by gas atomization. P/M material samples were made by pressing and sequent vacuum sintering. The results show that the wear rate and friction coefficient of P/M material samples are lower than the cast alloy samples of the same composition, but their compressing strength needs to be improved. Based on the experimental results, the wear-resisting and antifriction mechanism of the P/M materials have also been probed.

Key words high aluminium zinc alloy powder metallurgy friction wear

(编辑 黄劲松)