

[文章编号] 1004- 0609(2001)S1- 0110- 04

SiO₂ 和 SiC 对 Cu-Fe 基烧结摩擦材料性能的影响^①

刘伯威, 樊 毅, 张金生, 高 游, 吴 芳
(中南大学 粉末冶金国家重点实验室, 长沙 410083)

[摘 要] 研究了在 Cu-Fe 基烧结摩擦材料中 SiO₂ 和 SiC 对材料的力学性能特别是摩擦磨损性能的影响。结果表明: 添加 SiO₂ 摩擦材料的抗弯强度和摩擦因数分别为 141 MPa 和 0.277, 添加 SiC 的分别为 89 MPa 和 0.255, 添加 SiO₂+ SiC 的分别为 109 MPa 和 0.255。添加 SiO₂ 的摩擦材料磨损量为后两者的 2 倍, 而添加 SiC 和 SiO₂+ SiC 的摩擦材料对对偶的磨损量比前者约大 10 倍。

[关键词] Cu-Fe 基合金; 烧结摩擦材料; SiO₂; SiC

[中图分类号] V 52

[文献标识码] A

烧结金属摩擦材料具有独特的组织结构-连续的金属基体上镶嵌各种添加剂。目前, 烧结铜基和铁基摩擦材料仍然是烧结金属基摩擦材料的两大主系。而 Cu-Fe 混合基烧结摩擦材料兼有 Cu 基和 Fe 基的高强度、高导热性、高耐热性和高耐磨性等优点^[1~4]。早在 20 世纪 60 年代, 美国的本迪克斯 (Bendex) 公司就公布了 Cu-Fe 基粉末冶金摩擦材料的成分, 其基体是由 31.25% Cu 和 31.25% Fe 组成的, 这种混合基摩擦材料目前广泛应用于 B-737、B-747 以及 DC-9 等先进民航客机的制动系统中。这种混合基摩擦材料的摩擦组元和润滑组元为多种金属和非金属颗粒, 它们均匀地分布在金属基体中, 起着摩擦、抗磨和抗粘结的作用^[4~9]。

在合理选择材料基体组元的前提下, 有效选择摩擦组元和润滑组元是高性能金属基烧结摩擦材料研制成功的关键。一般认为, 在铁基烧结摩擦材料中以 SiC 颗粒作摩擦剂较为合适, 而在 Cu 基摩擦材料中加入 SiO₂ 为好。本文拟报道 SiO₂, SiC 或 SiO₂+ SiC 作为摩擦组元时对 Cu-Fe 基烧结摩擦材料物理性能及摩擦磨损性能的影响。

1 实验

1.1 实验方案

表 1 给出了 3 种材料的金属基体、润滑组元及摩擦组元的含量; 表 2 给出了各种原材料的主要性能指标。

表 1 3 种摩擦材料的配方 (%)

Table 1 Components of three types of friction materials (%)

Alloy No.	Fe, Cu and Cu alloy	Graphite, MoS ₂	SiO ₂	SiC
M-1	60~ 80	8~ 11	11.5	-
M-2	60~ 80	8~ 11	-	11.5
M-3	60~ 80	8~ 11	4.5	7

表 2 原材料的主要性能指标

Table 2 Characterization of raw materials

Raw material	Grain size/ μm	技术指标
Fe	< 74	还原法, Fe> 98%
Cu	< 74	电解法, Cu> 99%
Graphite	175~ 295	天然鳞片状, 固定 C> 90%
SiC	104~ 590	SiC 含量> 90%
SiO ₂	125~ 590	天然海沙

1.2 实验过程

按表 1 的质量分数称取各种原料粉末, 置于 V 型混料器中混合 6~ 8 h, 然后以 500 MPa 的压强将混合好的料在钢模中压制成型。压块密度为 4.8~ 5.2 g·cm⁻³, 压坯在钟罩式加压烧结炉中进行烧结, 保护气氛为氢气, 烧结温度为 960~ 980 ℃, 保温时间为 2~ 3 h, 施加在试样上的压强为 3.0~ 3.5 MPa。

烧结好的试样在 HBRV-187.5 硬度仪上测定硬度; 在 MeF3A 型金相显微镜上观察金相组织; 在 KYKY-2800 型扫描电镜下观察组织形貌并进行成分分析; 在 3014 型 X 衍射仪上测定材料的组织

① [基金项目] 国家科委重点资助项目(98- A28- 11)

[收稿日期] 2000- 11- 20; [修订日期] 2001- 02- 20

[作者简介] 刘伯威(1966-), 男, 讲师, 硕士。

结构; 在 LJ-3000A 型万能材料试验机上测定材料的强度。金相和扫描电镜试样的观察面垂直于制取试样时的加压方向。摩擦磨损试验在 MM-1000 型摩擦试验机上进行。对偶材料为 20CrMo 钢, 摩擦试验条件为: 滑动摩擦功 $3 \text{ kJ}/\text{cm}^2$, 比压 1.3 MPa , 转速 $5200 \text{ r}/\text{min}$, 转动惯量为 $3.0 \text{ kg}\cdot\text{cm}\cdot\text{s}^2$ 。

2 实验结果与讨论

2.1 材料的金相组织

3 种摩擦材料的金相组织见图 1 和 2。在图 1 中, 浅色相为 Cu-Fe 基体, 深灰色长条状组织为石墨; 图 1(a) 中的浅灰色块状相为 SiO_2 , SiO_2 颗粒与金属基体之间形成了一层过渡层。图 1(b) 中的深灰色块状相为 SiC 。图 1(c) 中的浅灰色大块状相为 SiO_2 , 深灰色大块状相为 SiC , SiO_2 颗粒与基体之间有过渡层。颗粒与金属基体之间过渡层的形成有利于提高材料的强度。图 2 为 M-1 摩擦材料经 3% 硝酸酒精溶液腐蚀过的金相组织, 可以看出, 材料的基体是由 Cu 合金与珠光体组成的。

2.2 摩擦试验后摩擦副摩擦面的形貌和成分

对 M-1 和 20CrMo 钢摩擦副摩擦试验后的摩擦表面进行能谱分析, 结果见图 3。由图 3 可见, 一对摩擦副两摩擦面上的成分基本一致, 这是在摩擦磨损过程中, 由于高温和摩擦的作用, 使摩擦副的两个摩擦面的物质互相转移, 逐渐趋于一致。通过 X 射线衍射分析证明了摩擦副两摩擦面上的 Fe , Si 和 S 3 种元素以 FeO , Fe_3O_4 , SiO_2 , FeS 等氧、硫化合物形式存在(X 射线衍射谱见图 4)。

在摩擦磨损过程中, 摩擦材料各组元的磨损产物在磨面上形成表面膜。表面膜的成分和结构十分复杂, 如本实验中在两个磨面上形成的 FeO 和 Fe_3O_4 就是在摩擦热的作用下, Fe 与空气中的 O_2 反应生成的氧化物。材料的实际工作面就是表面膜, 因此, 摩擦材料无论是摩擦因数还是耐磨性能都取决于这种膜的力学性能和物理化学性能^[4, 10]。

2.3 材料的力学性能

图 5 和图 6 分别比较了 3 种材料的洛氏硬度 (HRF) 和抗弯强度 (σ_{bb})。由图 5 可以看出 M-1, M-2 和 M-3 3 种材料的洛氏硬度分别为 55.7, 60.6 和 61.0, 3 种材料的硬度相差无几。由图 6 可以看出, M-1, M-2 和 M-3 3 种材料的抗弯强度分别为 141 MPa, 89 MPa 和 109 MPa, M-1 材料的抗弯强度比

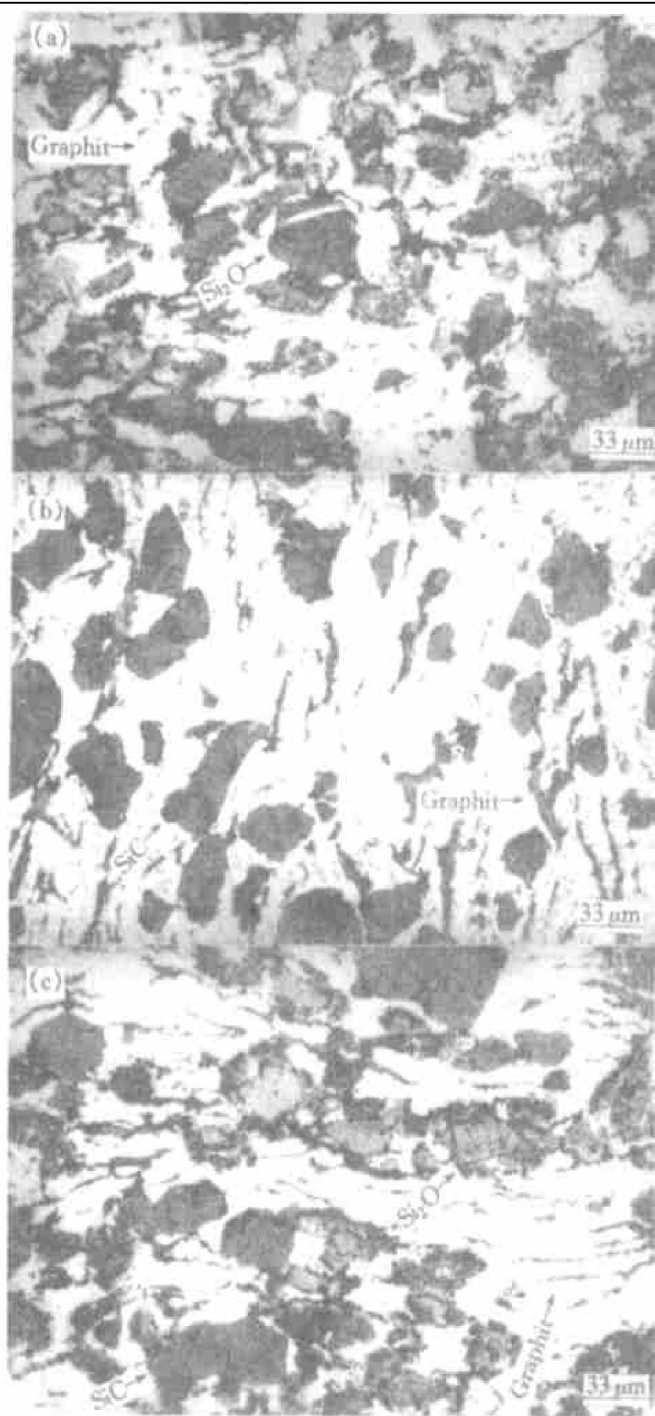


图 1 M-1, M-2 和 M-3 的金相组织

Fig. 1 Microstructures of M-1, M-2 and M-3 sintering friction materials

(a) —M-1; (b) —M-2; (c) —M-3

其它 2 种材料的高得多。由于占 3 种材料绝大部分体积的金属基体与润滑组元相同, 因此 3 种材料的硬度差别不大; 在 M-1 中, 由于 SiO_2 颗粒与基体之间形成了过渡层, 结合状态良好, 因此 M-1 具有最高的抗弯强度。在 M-2 中, SiC 颗粒与基体之间基本上无反应, SiC 颗粒成了材料强度的有害缺陷, 因此 M-2 的抗弯强度最小。M-3 中同时加入了 SiO_2 与 SiC , 颗粒与金属基体的结合状态比前者差而比后者好, 故抗弯强度变处于两者之间。

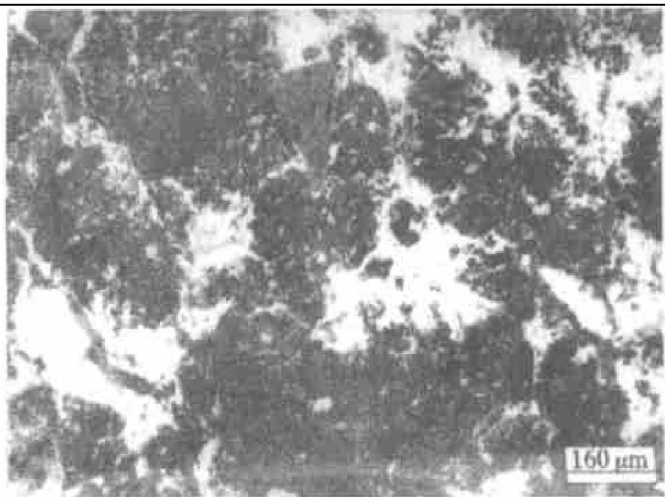


图 2 M-1 摩擦材料的金相组织(经腐蚀后)

Fig. 2 Metallograph of M-1 friction materials (after eroded)

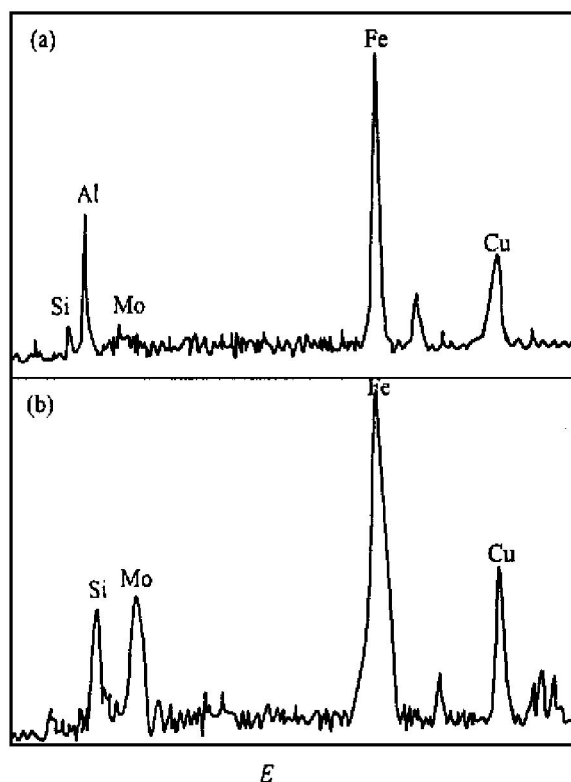


图 3 M-1(a) 和 20CrMo 钢(b) 摩擦副的磨面能谱

Fig. 3 Energy dispersive spectrum of worn layer of M-1 (a) friction material and 20CrMo steel (b)

2.4 材料的摩擦磨损性能

图 7 比较了 3 种材料的摩擦因数。由图 7 可见, M-1, M-2 和 M-3 的摩擦因数分别为 0.277, 0.255 和 0.255, 其摩擦因数稳定度分别为 0.74, 0.53 和 0.53, M-1 的摩擦因数最高, 稳定度最好。图 8 比较了 3 种材料及其 20CrMo 钢对偶的磨损率。由图 8 可见, M-1, M-2 和 M-3 3 种材料的磨损量分别为 $8.6 \times 10^{-3} \text{ mm}/(\text{次} \cdot \text{面})$, $4.1 \times 10^{-3} \text{ mm}/(\text{次} \cdot \text{面})$ 和 $3.0 \times 10^{-3} \text{ mm}/(\text{次} \cdot \text{面})$, M-1 的磨损量最大, 约为其他 2 种材料的 2 倍, 而 3 种材料其摩擦对偶的磨损量分别为 $0.7 \times 10^{-3} \text{ mm}/(\text{次} \cdot \text{面})$, $6.0 \times 10^{-3} \text{ mm}/(\text{次} \cdot \text{面})$ 和 $6.7 \times 10^{-3} \text{ mm}/(\text{次} \cdot \text{面})$, M-1 摩擦对偶的磨损量最小, 约为其他 2 种材料的

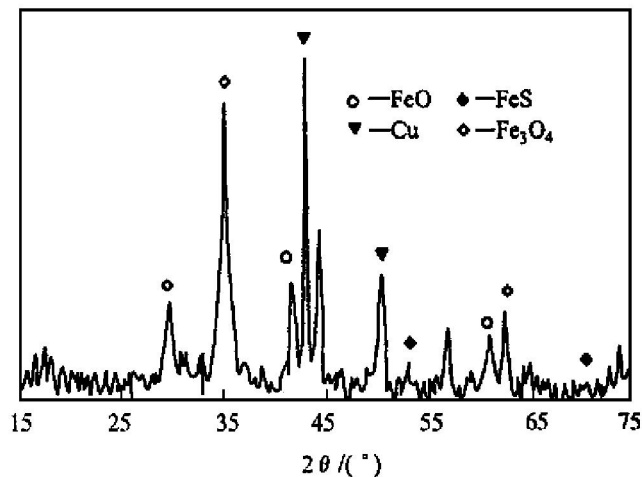


图 4 M-1 和 20CrMo 钢摩擦副的摩擦面 XRD 谱

Fig. 4 XRD pattern of worn layer of M-1 friction material and 20CrMo steel

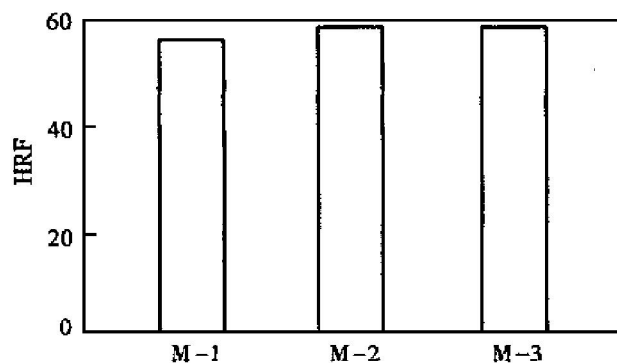


图 5 3 种材料的洛氏硬度(HRF)

Fig. 5 HRF values of three types of friction materials

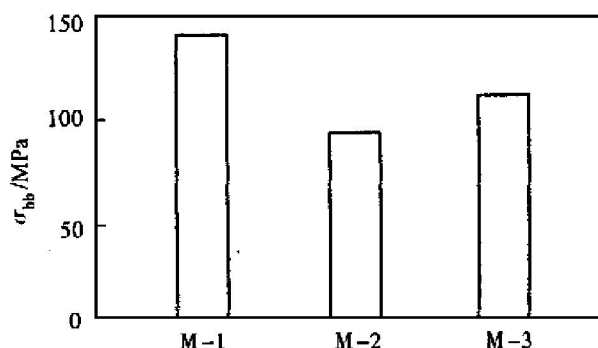


图 6 3 种材料的抗弯强度

Fig. 6 Flexural strengths (σ_{bb}) of three types of friction materials

面)和 $3.0 \times 10^{-3} \text{ mm}/(\text{次} \cdot \text{面})$, M-1 的磨损量最大, 约为其他 2 种材料的 2 倍, 而 3 种材料其摩擦对偶的磨损量分别为 $0.7 \times 10^{-3} \text{ mm}/(\text{次} \cdot \text{面})$, $6.0 \times 10^{-3} \text{ mm}/(\text{次} \cdot \text{面})$ 和 $6.7 \times 10^{-3} \text{ mm}/(\text{次} \cdot \text{面})$, M-1 摩擦对偶的磨损量最小, 约为其他 2 种材料的

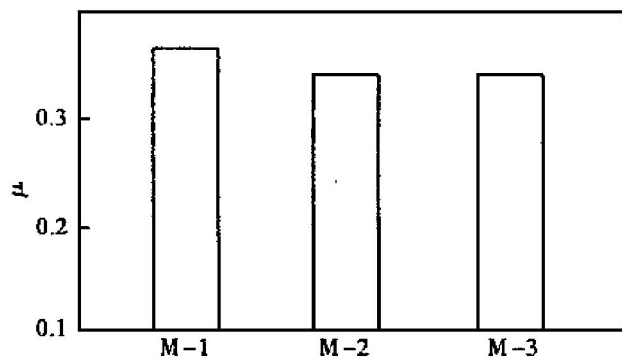


图 7 3 种材料的摩擦因数

Fig. 7 Friction coefficients (μ) of three types of materials

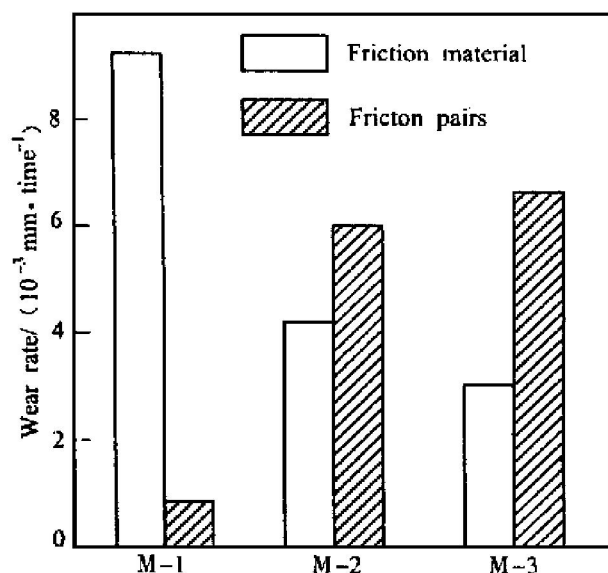


图 8 3 种材料及其对偶的磨损率(mm³ / 次·面)

Fig. 8 Wear rates of three types of materials and their pairs

1/10。

[REFERENCES]

- [1] TANG Lir-sheng(唐林生), FENG Zuor-feng(冯作锋), LIN Qiang(林强). 石灰石超细磨助磨剂及其助磨机理[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals (中国有色金属学报), 2000, 10(1): 131- 135.
- [2] YANG Yong-lian(杨永连). 烧结金属摩擦材料[J]. Materials for Mechanical Engineering (机械工程材料), 1995, 19(6): 18- 21.
- [3] TAN Ming-fu(谭明福), HUANG Shang-wen(黄尚文), LIU Xing-jiao(刘先娇), et al. 直八型多用直升机旋翼刹车材料的研制[J]. Powder Metallurgy Technology (粉末冶金技术), 1989, 7(3): 149- 155.
- [4] HUANG Shang-wen(黄尚文), TAN Ming-fu(谭明福). 润滑组元对铁基摩擦材料摩擦性能的影响[J]. J Cent South Inst Min Metall (中南矿冶学院学报), 1993, 24(5): 622- 626.
- [5] Archard J F. The temperature of rubbing surfaces. Wear, 1959, 2: 438- 455.
- [6] Lim S C, Ashby M F. Wear mechanism maps [J]. Acta Metall, 1987, 35: 1- 24.
- [7] Yan G H, Garrison W M. A comparison of microstructural effect on two-body and three-body abrasive wear [J]. Wear, 1989, 129: 93- 103.
- [8] Shepperson S, Allen C. The abrasive wear behaviour of austempered spheroidal cast irons [J]. Wear, 1988, 121: 271- 287.
- [9] Zhang Y. Investigation of tribological properties of brake shoe materials phosphorus cast irons with different graphite morphologies [J]. Wear, 1993, 166: 19- 186.
- [10] FAN Yi(樊毅), ZHANG Jin-sheng(张金生), GAO You(高游), et al. 石墨粒度对 Cu-Fe 基摩擦材料性能的影响[J]. Tribology (摩擦学学报), 2000, 20(6): 475- 477.

Effect of SiO_2 and SiC on properties of Cu-Fe matrix sintered friction materials

LIU Bo-wei, FAN Yi, ZHANG Jin-sheng, GAO You, WU Fang

(State Key Laboratory for Powder Metallurgy, Central South University, Changsha 410083, P. R. China)

[Abstract] The effect of SiO_2 and SiC on the physical and mechanical properties, especially friction and wear characteristics of Cu-Fe based sintering friction materials has been studied. The results show that bending strength of the materials which contains SiO_2 reaches 141 MPa, and only 89 MPa for the material which contains SiC . The friction coefficient of the former is higher than that of the latter, but its wear amount is twice as high as that of the latter. The wear amount of its matching material is very low. Adversely, the wear amount of the matching material of the material which contains SiC is rather high.

[Key words] Cu-Fe based alloy; sintered friction material; SiO_2 ; SiC

(编辑 黄劲松)