

短碳纤维增强锡基巴氏合金摩擦学特性^①

贺林

朱均

(西北工业大学材料科学与工程系, 西安 710072)

(西安交通大学润滑理论及轴承研究所, 西安 710049)

摘要 研究了短碳纤维增强锡基巴氏合金的摩擦学特性。结果表明: 与铸态锡基巴氏合金相比, 6% (体积分数) 的短碳纤维的加入, 降低并稳定了锡基巴氏合金与钢配副的摩擦系数, 使其更易跑合, 特别是显著地延长了合金的稳定磨损期, 使合金不易发生剧烈的粘着磨损, 从而使锡基巴氏合金的摩擦学特性得到改善。

关键词 锡基巴氏合金 碳纤维 摩擦学特性

中图法分类号 TH117.1 TG580.1

由于其顺应性及嵌藏性比其它任何轴承合金都要好, 锡基巴氏合金目前仍是制造各种流体润滑滑动轴承瓦的主要材料, 而且在出现短时非流体润滑的紧急情况时对轴颈的威胁小。但是, 巴氏合金的强度低, 特别是其强度随温度的升高下降很快, 这使得巴氏合金轴瓦的承载能力比其它轴承合金都要低, 温度敏感性大, 在流体润滑滑动轴承出现短时非流体润滑紧急状态时, 巴氏合金轴瓦会因温度的上升而发生剧烈的粘着磨损, 引起烧瓦事故。随着现代化机组向大型、高速化发展, 对流体润滑滑动轴承的承载能力及其可靠性提出了更高的要求^[1]。轴承的承载能力虽然与轴承的结构设计有关, 但也在很大程度上受轴瓦材料的允许使用应力的影响; 轴承运行的可靠性虽然主要是靠润滑、状态监测等来保证, 但轴瓦材料应给予更大的裕度, 这就要求轴瓦材料在具备良好的减摩性、顺应性的同时, 必须具备优良的耐磨性。

通过合金化的方法进一步强化巴氏合金, 会因其软基体硬度过高或硬质相数量过多而使其独特优点损失掉, 而碳纤维的特性及其强化作用^[2-5]则为进一步强化巴氏合金提供了新

的途径。与传统的合金强化不同的是, 碳纤维增强不会对材料的基体性能产生明显影响, 即碳纤维的加入可使巴氏合金的强度、特别是高温强度提高, 而仍保持其基体的低硬度, 这就有可能使复合材料也具有顺应性好、嵌藏性好等优点。本文的目的就是研究短碳纤维的加入对锡基巴氏合金摩擦学特性的影响。

1 试验方法

1.1 试样的制备

为适应轴瓦表面的应力状态, 碳纤维在锡基巴氏合金基体中应为短切、随机取向分布。为此, 采用粉末冶金法制作短纤维复合材料。试验用 PAN 基 II 型高强无胶碳纤维, 单丝直径 $7\mu\text{m}$ 。为改善碳纤维与锡基体之间的相容性, 采用连续电镀法在纤维表面镀上一层厚度约为 $1\mu\text{m}$ 的铜层, 再将其剪切成长度约 1mm 的短碳纤维。金属粉末采用 2 号锡基轴承合金 ZChSnSb11-6 的预合金化粉末, 其化学成份是 11.37% Sb, 5.7% Cu, 余量 Sn, 粉末粒度中 $147\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$ 占 94%。试验中考虑为保持锡基巴氏合金的性能优点及粉末冶金工艺, 将短

① 国家自然科学基金资助项目 59375205 收稿日期: 1996-12-24; 修回日期: 1997-03-24

贺林, 男, 35岁, 副教授, 博士后

碳纤维的加入量控制为 6% (体积分数), 短纤维与金属粉末湿法混匀, 在 220 MPa 的压力下模压成型。在高纯氢气保护气氛中进行烧结, 烧结温度 $230 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ 。为改善材料的性能, 再在 100 MPa 压力下复压, $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 下复烧。

1.2 摩擦磨损试验

摩擦磨损试验在 MHK-500 型环块磨损试验机上进行, 摩擦副由高速旋转的上试环及静止的下试块组成, 以模拟滑动轴承的工作状态。试环材料为 GGr15 合金钢, 硬度 HRC 58 ~ 62, 工作面精磨加工到 $R_a = 0.24 \text{ } \mu\text{m}$ 。试块为被试验材料, 在挂锡的钢背上烧结一层厚度约 3 mm 的短碳纤维增强锡基巴氏合金或浇铸一层传统锡基巴氏合金作为工作面, 得到了两种试样。试样工作面经镗削加工出与试环外园半径相配合的内圆弧表面, 以使试验过程中摩擦磨损面上的平均比压不变。为强化跑合过程, 突出材料跑合性能的差异, 将所有试样的原始加工表面粗糙度增大到 $R_a = 3.54 \sim 3.74 \text{ } \mu\text{m}$ 。试验过程中选择了滑动速度 $v = 0.82 \text{ m/s}$, 压力 $p = 3.82 \text{ MPa}$ 的干摩擦及滑动速度 $v = 2 \text{ m/s}$, 压力 $p = 9.57 \text{ MPa}$ 的边界润滑条件, 边界润滑时以透平油为润滑剂。

2 试验结果

2.1 微观组织及力学性能

图 1(a) 为用粉末冶金法制作的短碳纤维增强锡基巴氏合金试样的显微组织, 可以看出短碳纤维在微观组织中分布是均匀的。更高倍数下观察可以发现, 碳纤维与金属基体间结合良好, 在压制过程中较长的碳纤维会发生二次断裂(图 1(b)), 但裂缝间也可被金属基体良好地充填, 这是锡基巴氏合金粉末良好的压制性所致。从图中还可观察到微观组织中存在孔隙。

为比较起见, 选择传统铸态锡基巴氏合金 ZChSnSb11-6 作为参考试样, 两种试样的编号及力学性能比较列于表 1 中, 压缩试样尺寸为 $d 15 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ 。

由表中数据可以看出, 短碳纤维的加入虽使常温巴氏合金强度提高的幅度并不大, 但使较高温度下合金的强度大幅度提高, 短碳纤维增强锡基巴氏合金力学性能的温度敏感性比传统锡基巴氏合金要小得多。

2.2 摩擦学特性

图 2、图 3 为两种摩擦磨损条件下、两个试样与钢配副摩擦系数的变化趋势及磨损曲线。由图可以看出, 在两种试验条件下试样摩擦系数及磨损体积的变化趋势是基本相同的。在干摩擦条件下, 试样 SF6 与钢配副的摩擦系数比试样 AC 的要低, 而且在整个磨损过程中摩擦系数非常稳定(图 2(a)); 在边界润滑条件下, 试样 SF6 与钢配副的摩擦系数虽并不一

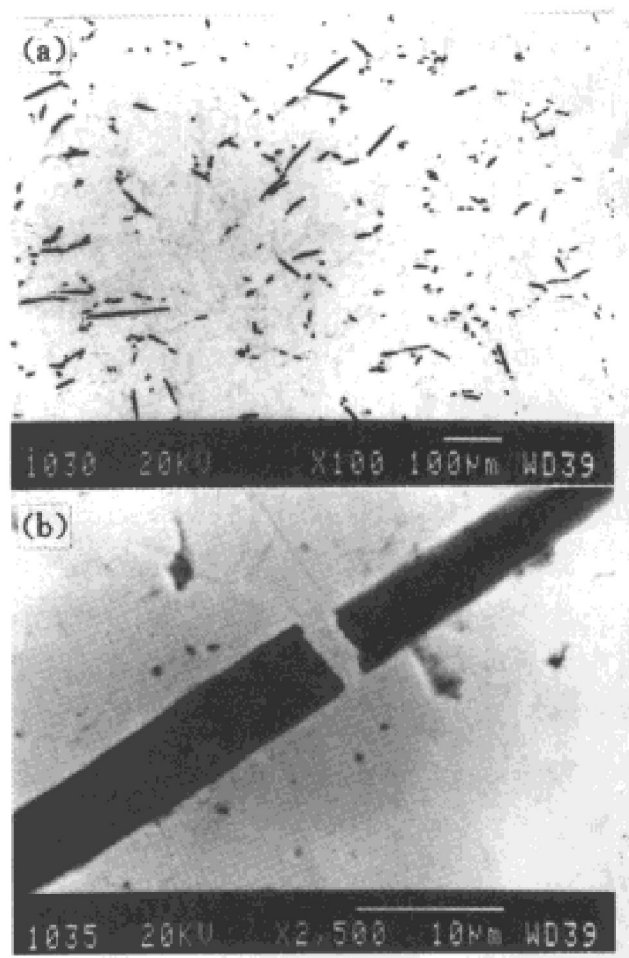


图 1 短碳纤维增强锡基巴氏合金的微观组织

Fig. 1 Microstructures of short carbon fibre reinforced Sn matrix Babbitt alloy

(a) —Distribution of short carbon fibres;

(b) —Interface of carbon fibre and metallic matrix

表 1 试样的力学性能比较

Table 1 Mechanical properties of testing samples

Sample	Condition	Real density / ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Porosity / %	Hardness / HB	Compressive yield strength $\sigma_{0.2}$ / MPa	
					22 °C	150 °C
SF6	Sintered	6.72	4.13	33.5	103.8	91.0
AC	As cast	7.16	1.65	29.2	98.5	38.9

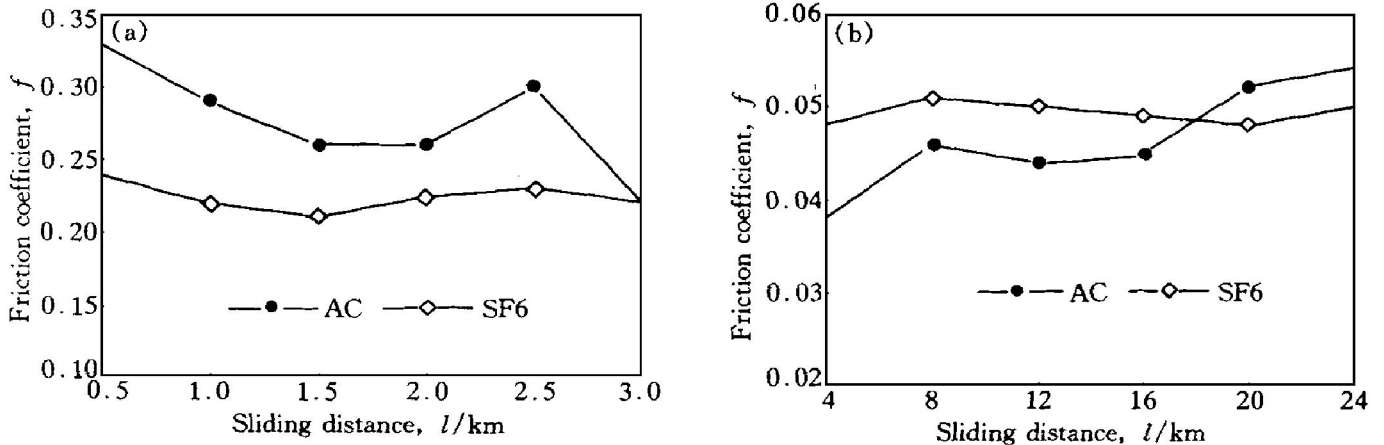


图 2 试样与钢配副摩擦系数的变化趋势

Fig. 2 Friction coefficients of samples mated with steel

(a) —In dry friction condition; (b) —In boundary lubricated condition

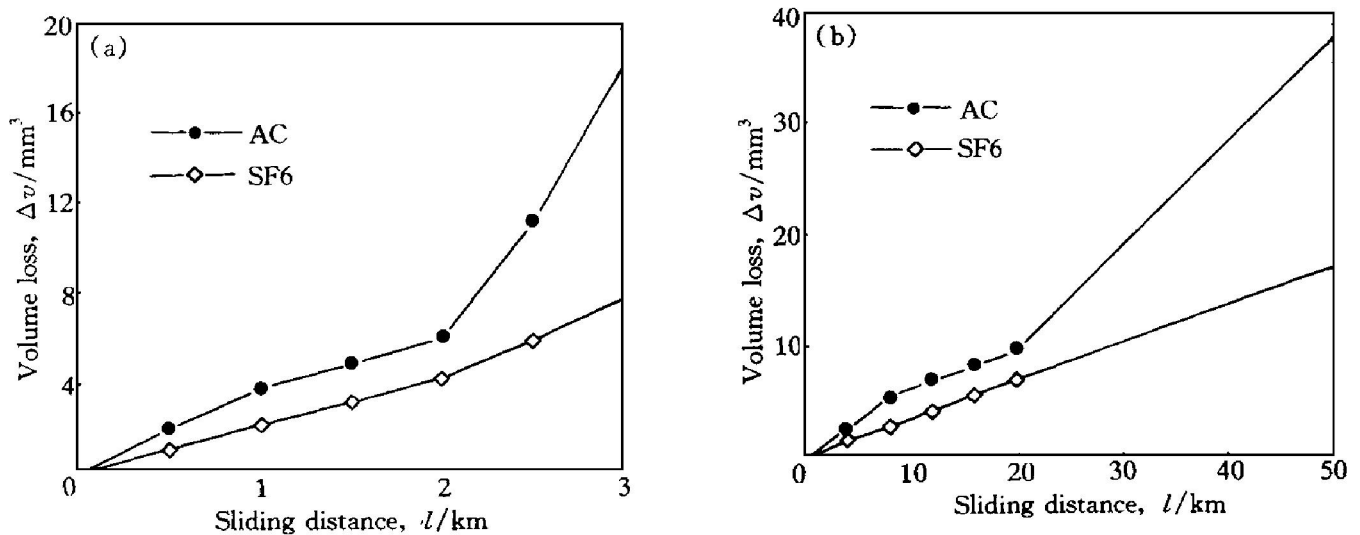


图 3 试样的磨损曲线

Fig. 3 Wear curves of samples

(a) —In dry friction condition; (b) —In boundary lubricated condition

定比试样 AC 的低,但也要比其稳定得多(图 2 (b))。两个试样磨损曲线的差别更为显著,铸态锡基巴氏合金试样 AC 的磨损曲线上有明显的跑合期、稳定磨损期及剧烈磨损期,而短碳

纤维增强锡基巴氏合金试样 SF6 则表现出长期稳定的磨损率,即试样 SF6 没有明显的跑合期且不易发生剧烈磨损,特别是在磨损后期表现出了明显的优势(图 3(a), (b))。

3 讨论

在滑动摩擦学系统中铸态锡基巴氏合金与短碳纤维增强锡基巴氏合金摩擦磨损特性的差异与其微观组织及力学性能的差异有关。

3.1 碳纤维的自润滑特性

碳纤维虽不象石墨那样具有层片状晶体结构,但也具有一定的自润滑作用^[2, 4],碳纤维增强锡基巴氏合金在干摩擦条件下低的摩擦系数应与此有关^[6]。在有油作为润滑剂时,碳纤维本身有限的自润滑作用已经显示不出来,故在边界润滑条件下碳纤维增强锡基巴氏合金并没表现出更低的摩擦系数。

3.2 短碳纤维的应力均化效应

摩擦副的跑合过程就是配副的一对粗糙表面通过改变其表面粗糙度而使实际接触面积、特别是弹性接触面积增加、接触应力水平不断下降的过程,从而使配副表面相互适应、进入稳定磨损期。相对于巴氏合金的软基体而言,碳纤维可以看作为刚体,当接触点上的短碳纤维受到应力作用时,短纤维可将应力很快传递到磨面上的非接触部位,使磨面上很快发生较大范围内的有利于降低接触应力水平的非接触变形,从而改变磨面的粗糙度。这样,磨面上虽未产生大量的材料损耗,但也可使磨面的粗糙度相互适应。若没有刚性纤维的这种应力均化作用,磨面的粗糙度改变就只能主要通过接触面上材料的损耗来实现,正象铸态巴氏合金在跑合期那样,表现出较高的磨损率。也就是说,正是刚性碳纤维的这种“应力均化效应”使得碳纤维增强锡基巴氏合金在磨程的一开始就进入稳定磨损期。刚性硬质相的这种“应力均化效应”在其它材料的研究中也有报导^[7- 8]。

3.3 碳纤维的高温强化作用

在磨程的后期,磨面温度的升高非常明显,即使边界润滑的磨损面温升也是不可避免的,这种温升对表面材料的力学性能肯定会产生影响^[9]。当温度为 150 °C时短碳纤维增强锡基巴氏合金的强度比铸态锡基巴氏合金的高一

倍,这种高温强度的差异使得发生粘着磨损时,短碳纤维增强锡基巴氏合金产生的磨屑厚度比铸态锡基巴氏合金的要小得多。随机取向短碳纤维还使磨损面上的裂纹不易扩展^[10],因而短碳纤维增强锡基巴氏合金产生的磨屑面积也要比铸态锡基巴氏合金的小,两种试样磨屑的尺寸比较见图 4。较小尺寸磨屑的产生对短碳纤维增强锡基巴氏合金磨面粗糙度的影响小,摩擦副配副面的接触状态不会发生明显变化,因此短碳纤维增强锡基巴氏合金的磨损率可以长期保持稳定,合金不易发生剧烈的粘着磨损。而较大尺寸磨屑的产生则会使铸态锡基巴氏合金的磨面粗糙度迅速变化,摩擦副配副面接触状态恶化,磨损率增加,磨损进入剧烈磨损期。

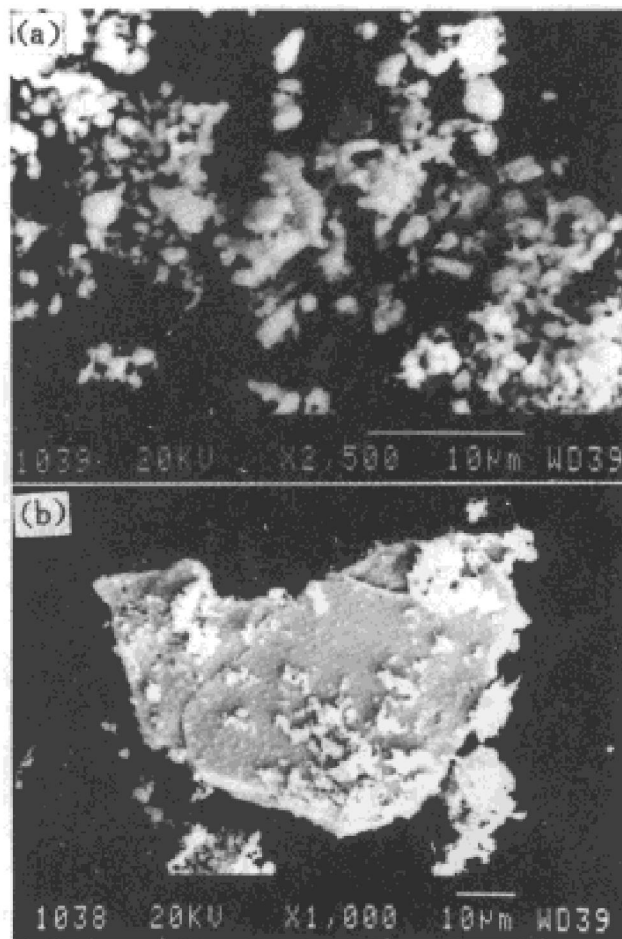


图 4 干摩擦条件下 3 km 磨程时两种试样的磨屑尺寸

Fig. 4 Debris of samples in dry friction condition at $l= 3$ km

(a) —Sample SF6; (b) —Sample AC

4 结论

(1) 加入短碳纤维降低并稳定锡基巴氏合金与钢配副的摩擦系数,使其更易跑合,特别是显著地延长合金的稳定磨损期,使其不易发生剧烈的粘着磨损。

(2) 短碳纤维的“应力均化效应”使短碳纤维增强锡基巴氏合金没有明显的跑合期。

(3) 碳纤维的强化作用、特别是高温强化作用,使短碳纤维增强锡基巴氏合金的磨屑尺寸比铸态锡基巴氏合金的要小得多,这是短碳纤维增强锡基巴氏合金磨损率长期保持稳定、不易发生剧烈磨损的主要原因。

REFERENCES

1 Zhu Jun(朱均). Lubrication Engineering(润滑与

密封), 1993, (1): 62- 68.

2 Kendall E G. Metal Matrix Composites, Academic Press, 1974, 4: 319- 397.

3 Zhang Yie(张冶), Zhong Taoxing(钟涛兴), Guo Changhai(郭长海) *et al.* CN86105731A, 1992.

4 Casstevens J M, Rylander H G and Eliezer Z. Wear, 1978, 50: 371- 381.

5 Amateau M F, Flowers R H and Eliezer Z. Wear, 1979, 54: 175- 185.

6 Pearsall K J and Eliezer Z. Wear, 1980, 63: 121- 130.

7 He L and Zhang C J. Wear, 1994, 176: 103- 109.

8 Garrison W M. Wear, 1982, 82: 213- 220.

9 Eliezer Z, Ramage C H, Rylander H G *et al.* Wear, 1978, 49: 119- 133.

10 Li V C and Hashida T. J Mater Sci Let, 1993, 12: 899- 901.

TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SHORT CARBON FIBER-REINFORCED Sn-MATRIX BABBITT ALLOY

He Lin

*Department of Materials Science and Engineering,
Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, P. R. China*

Zhu Jun

*Theory of Lubrication and Bearing Institute,
Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, P. R. China*

ABSTRACT The tribological characteristics of short carbon fiber reinforced Sn-matrix Babbitt alloy were investigated. The results show that short carbon fiber-reinforced Sn-matrix Babbitt alloy could more easily run compared with as-cast Sn-matrix Babbitt alloy and its friction coefficient mating with steel becomes very stable during the whole testing course. Especially, the mild-wear stage of the composite is lengthened and the severe adhesive wear of the composite does not occur easily, thus the tribological characteristics of as-cast Sn-matrix Babbitt alloy are modified.

Key words Sn-matrix Babbitt alloy carbon fibre tribological characteristics

(编辑 黄劲松)