

不同温度下半金属摩擦材料的摩擦磨损性能研究*

苏 堤, 李度成, 汪 琳, 王坪龙

(中南工业大学 粉末冶金研究所, 湖南 长沙 410083)

摘要: 利用 DMS 型定速摩擦试验机, 考察了 2 种润滑相对半金属摩擦材料摩擦系数和磨损率随温度变化的影响情况, 并采用扫描电子显微镜 (SEM) 和 X 射线能量色散谱等 (EDAX) 分析了 2 种复合摩擦材料中各组分对摩擦磨损性能的交互作用, 揭示了半金属摩擦材料摩擦磨损的特性和机制

关键词: 半金属摩擦材料; 摩擦磨损性能; 磨损机理

中图分类号: TB332; U465.6

文章标识码: A

文章编号: 1004-0595(2000)05-0383-03

随着汽车工业的飞速发展, 人们对汽车摩擦材料综合性能提出了越来越高的要求, 而汽车摩擦材料的环保问题也日益受到重视。与此相适应, 新一代的无石棉半金属摩擦材料的研制、开发和应用发展非常迅速。目前, 在汽车工业比较发达的国家, 无石棉半金属摩擦材料已基本取代了传统的石棉摩擦材料。

半金属摩擦材料是一种成分复杂的复合材料^[1], 其中含有有机粘结相、多种纤维混合增强相、润滑相及摩擦性能调节相等, 因此其摩擦过程十分复杂, 摩擦偶件之间的界面处不仅存在复杂的物理作用, 也存在更为复杂的化学过程。而无石棉半金属摩擦材料的磨损过程本身亦十分复杂^[2], 目前人们对其摩擦磨损特性的认识还停留在借鉴金属材料的摩擦磨损机理的基础上^[3]。本文报道 2 种无石棉半金属摩擦材料的摩擦磨损性能研究结果, 期望对研究和开发新型无石棉半金属摩擦材料提供实验依据。

1 试验方法

试验用摩擦材料采用无石棉半金属配方, 其中 4 种成分的体积分数分别为酚醛树脂粘结相 15%, 碳纤维增强相 35%, 润滑相 (石墨或 MoS_2) 20%, 摩擦性能调节相 30% (其中以 Sb_2S_3 、 $BaSO_4$ 、长石和 CaF_2 为主)。各摩擦组分按比例配料并在小混料机上混合均匀后, 在 160 和 35 MPa 下热压成型, 再经 160~220 热处理 12 h 即制得待测样品。样品 1 与样品 2 的润滑相分别为石墨和 MoS_2 。采用天然磷片状石墨, 其碳含量为 94%, 粒度约为 220 μm ; MoS_2 粒度约为

40 μm , 纯度为 85%。

采用常规 DMS 型定速摩擦试验机评定摩擦材料的摩擦磨损性能。该试验机通过法码和杠杆向试样加载来测定不同温度和不同载荷及恒定滑动速度下材料的摩擦磨损性能, 其中试验片为块状试样, 其尺寸为 25 mm \times 25 mm \times 5 mm; 偶件为 HT20-40 灰铸铁材料 (符合 GB976-67 规定), 其结构系珠光体组织, 硬度为 170~210 HB。试验片承载压力为 1 MPa, 滑动线速度 7.5 m/s。在温度 80、150、250 和 350 下, 对 2 种配方的摩擦材料与灰铸铁配副时的摩擦系数和磨损率进行测定, 并收集各试验温度下的磨屑, 利用 SEM 和 EDAX 对其进行形貌及成分分析。

2 结果与讨论

2.1 摩擦磨损性能

图 1 示出了 2 种摩擦材料的摩擦系数和磨损率随温度变化的关系曲线。可见: 在相同测试温度下, 含 MoS_2 试样的摩擦系数明显比含石墨试样的高; 在温度 80~250 范围内, 含 MoS_2 试样的磨损率也明显比含石墨试样的高, 但在 250 以上 2 种试样的磨损率趋于一致。可见石墨与 MoS_2 都可用作润滑组分, 二者在 250 以上对摩擦材料耐磨性的影响相当。

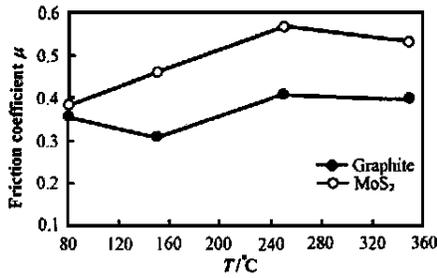
2.2 SEM 形貌分析及能谱分析

2 种试样在 80 下的磨屑形貌 SEM 照片如图 2 所示。可以看出 2 种摩擦材料的磨屑形状不规则, 且尺寸大小不一。通过对视场进行 EDAX 分析, 测得磨

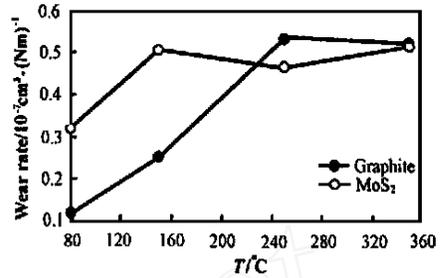
* 科技部“九五”攻关项目资助 (96-A 08-02-03)。

1999-11-05 收到初稿, 2000-01-25 收到修改稿/联系人苏堤

苏堤 男, 37 岁, 副研究员, 目前主要从事新型无石棉半金属刹车材料的研制与摩擦学研究



(a) Friction coefficient



(b) Wear rate

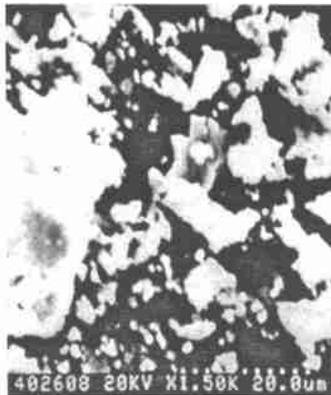
Fig 1 Variations in the friction coefficient and wear rate with temperature

图 1 摩擦系数和磨损率随温度变化的关系曲线

屑中 3 种主要元素的原子浓度比随温度变化的情况 质量基本相同; 含石墨样品在 80 和 350 下的磨



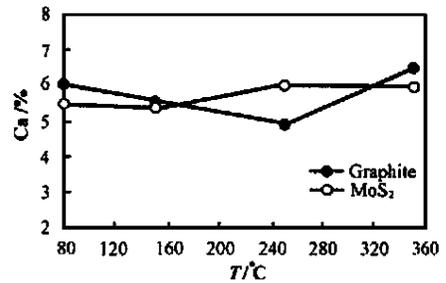
(a) Graphite



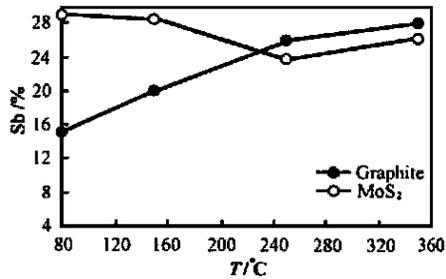
(b) MoS₂

Fig 2 SEM morphology of the wear debris of two samples at 80

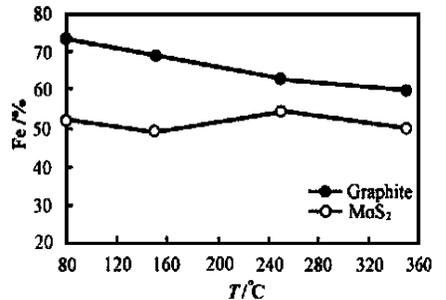
图 2 两种试样在 80 下的磨屑形貌 SEM 照片



(a) Ca element



(b) Sb element



(c) Fe element

Fig 3 Variations in the atomic concentration of Ca, Sb, and Fe in wear debris with temperature

图 3 摩擦材料磨屑中典型元素的原子浓度随温度变化的关系曲线

如图 3 所示 一般认为, 采用 EDAX 测得的磨屑中的主要元素的原子浓度可间接地反映该元素对应的化合物材料在磨屑中的含量, 即相应的复合相组分从摩擦材料中磨损脱落的数量 试验中 Ba 元素基本检测不到, 因此可以认为摩擦材料中的 BaSO₄ 组分的磨损质量损失很小 从图 3(a) 可见, 含 MoS₂ 的试样在各温度下的磨屑中的 Ca 含量, 即 CaF₂ 组分的磨损

屑中的 Ca 含量较高, 而在 250 下 Ca 含量最低 总体而言, 2 种试样的磨屑中的 Ca 含量相差不大 从图 3(b) 可以看出, 含 MoS₂ 的试样的磨屑中 Sb 的原子浓度随着温度升高略有降低; 含石墨试样的磨屑在

低温下的 Sb 含量较低,而在高温下 Sb 含量明显增加。我们推测,在低温摩擦过程中,含石墨试样中的 Sb_2S_3 组分与石墨组分发生了相互作用,从而使得摩擦材料中的 Sb_2S_3 组分的磨损损失较小;而 MoS_2 与 Sb_2S_3 之间的这种相互作用较弱,因而含 MoS_2 的摩擦材料中的 Sb_2S_3 组分的磨损损失较为显著。由于摩擦材料中的润滑组分与 Sb_2S_3 组分的相互作用随温度升高而减弱,因而 2 种试样经高温摩擦磨损试验后磨屑中 Sb_2S_3 组分含量趋于一致。从图 3(c) 可以看出,含石墨的试样在较低试验温度下的磨屑中的 Fe 含量较高,随着试验温度的升高,磨屑中的 Fe 含量逐渐降低;在本文的各个试验温度下,含石墨试样的磨屑中的 Fe 含量比含 MoS_2 试样的高。这说明含石墨试样中的钢纤维在各个试验温度下的磨损比含 MoS_2 试样中的严重。

以上试验结果之间的差异,表面看来归因于摩擦材料中石墨与 MoS_2 组分之间的差异。但从深层次来看,我们推测这种差异归因于摩擦材料中 2 种润滑组分与其他组分之间相互影响的差异。如图 3(c) 所示,含 MoS_2 试样在各个试验温度下的磨屑中的 Fe 含量都比含石墨试样的低,且随温度的变化不大。与金属轴承材料中的 MoS_2 具有减摩抗磨作用相似,在摩擦材料中的 MoS_2 同样能够有效地防止金属材料表面之间的咬合,减轻金属偶件的磨损^[4]。而由于摩擦表面的瞬时高温,摩擦材料中的石墨极易对低碳钢纤维表面产生较强的渗碳作用,使钢纤维表面碳含量剧增,表面硬度增加和脆性增大,在摩擦过程中摩擦表

面的钢纤维易破碎脱落并进而划伤偶件表面,或在正压力和剪切力作用下拔脱,从而使磨损加剧。而 MoS_2 对钢纤维不会产生渗碳作用,因而整体而言含 MoS_2 摩擦材料试样中的钢纤维的磨损比含石墨试样中的轻微。

3 结论

a 摩擦材料中的润滑组分 MoS_2 和石墨与其他组分之间的相互作用存在差异,这使得含 MoS_2 和石墨润滑组分的 2 种摩擦材料的摩擦磨损行为明显不同。

b 在其它组分相同的条件下,含 MoS_2 润滑相的摩擦材料的耐磨性优于含石墨润滑相的摩擦材料,这是由于 MoS_2 对摩擦材料中的钢纤维无渗碳作用,因而不加剧钢纤维的脱落及其对偶件表面的损伤作用所致。

c 两种摩擦材料的磨屑元素组成主要为 Fe、Sb 和 Ca 等。

参考文献:

- [1] 徐仁泉,胡庆.冷压盘式刹车片摩擦磨损性能的研究[J].摩擦学学报,1998,18(3):259~262
- [2] 贾贤,周本濂,陈永潭,等.半金属摩擦材料与灰铸铁滑动摩擦表面层特性的分析研究[J].摩擦学学报,1995,15(2):171~176
- [3] K-H 哈比希.材料的磨损与硬度[M].严立译.北京:机械工业出版社,1987.
- [4] 王汝霖.润滑剂摩擦化学[M].北京:中国石化出版社,1994.

Friction and Wear Behavior of Two Semi-metallic Friction Materials

SU Di, LI Du-cheng, WANG Lin, WANG Ping-long

(Powder Metallurgy Research Institute, Central South University of Technology, Changsha 410083, China)

Abstract: The friction and wear behavior of two semi-metallic friction materials containing MoS_2 or graphite as the lubricating phase has been investigated on a DMS friction and wear tester. The morphology and elemental compositions of the wear debris have been examined by means of scanning electron microscopy and energy dispersive spectrometry, respectively. The wear mechanism of the friction materials is discussed by taking into account the interaction among the lubricating phase and the other components. As the results, MoS_2 and graphite show difference in terms of the interaction with the other components in the friction materials. The friction material containing MoS_2 show better wear-resistance than that containing graphite. This is because MoS_2 as the lubricating component does not enhance pulling out and wear of the steel fiber in the friction material by way of carburization. The wear debris is mainly composed of Fe, Ca, and Sb.

Key words: semi-metallic friction material; friction and wear behavior; wear mechanism