

超细 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 对酚醛树脂基摩擦材料 摩擦磨损性能的影响*

姚 为 吴其胜 侯贵华

(盐城工学院江苏省生态环境材料重点建设实验室, 盐城 224051)

摘要 采用热压成型法制备了超细 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粉体改性酚醛树脂基摩擦材料, 在定速摩擦磨损试验机上考察了不同含量 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 对材料摩擦磨损性能的影响, 通过扫描电子显微镜 (SEM) 观察材料磨损后的表面形貌并分析其磨损机理。结果表明, 随着 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 含量的增加, 材料的摩擦系数明显增加, 抗热衰退性能得到显著改善, 磨损率稍有提高。SEM 分析表明, 添加 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 后, 磨损机理由粘着磨损转变为粘着磨损与磨粒磨损的复合形式。

关键词 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 酚醛树脂 摩擦材料 摩擦磨损性能

摩擦材料是一类以摩擦制动为主要功能的材料, 在刹车制动过程中要求其具有稳定适中的摩擦系数 (0.35 ~0.45)^[1]、较低的噪音和振动及一定的舒适性能^[2~3]。摩擦系数太小, 在紧急制动过程中缺少足够的摩擦力使汽车在规定的制动距离内停下来; 摩擦系数太大, 紧急刹车时方向盘容易抱死, 使汽车失去控制^[4~5]。传统的摩擦材料通常是石棉增强树脂基材料, 但由于石棉具有致癌作用, 已经被许多国家禁止使用^[3]。目前应用最广泛的摩擦材料可以分为半金属、无石棉有机、陶瓷摩擦材料 3 类。无石棉有机酚醛树脂基摩擦材料因酚醛树脂价格低廉、易成型加工、化学性质稳定等优点而得到广泛应用, 但由于酚醛树脂基摩擦材料的抗热衰退性能差、摩擦系数不稳定, 在一定程度上限制了其使用范围^[6]。通常向酚醛树脂基体中添加一些摩擦性能改性剂^[6~11]来改善摩擦材料和摩擦副界面的接触性能, 控制摩擦面转移膜的厚度, 以获得摩擦系数适中、抗热衰退性能好的摩擦材料。

$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 具有较高的莫氏硬度、低廉的价格、优良的耐磨性能, 在摩擦材料中加入适量的 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 有利于提高摩擦材料的摩擦系数和热稳定性能^[12]。近年来, Al_2O_3 改性摩擦材料受到广泛的关注, 但主要集中在陶瓷摩擦材料^[7, 13~14]和金属摩擦材料^[12, 15]领域, 关于 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 改性酚醛树脂基摩擦材料的报道很少。笔者采用超细 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粉体改性酚醛树脂基摩擦材料, 研究了不同含量 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 对摩擦材料性能的影响, 并分析了摩擦材料的磨损机理。

1 实验部分

1.1 原材料

$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$: 25 ~130 μm , 天津科密欧化学试剂开

发中心;

芳纶: 1414, 上海英嘉特种纤维材料有限公司;

腰果壳油改性酚醛树脂 (YSM): 盐城市伯瑞克

摩擦材料有限公司;

硅灰石、石墨、硫酸钡、轮胎粉、硬脂酸锌: 盐城市伯瑞克摩擦材料有限公司。

1.2 仪器及设备

高速混合机: SHR-10A 型, 张家港市博瑞克机械制造有限公司;

热压成型机: JFY60 型, 吉林大学机电设备研究所;

定速摩擦试验机: JF151 型, 吉林大学机电设备研究所;

扫描电子显微镜 (SEM): QANTA200 型, 美国 FEI 公司。

1.3 试样制备

首先将原料按表 1 配方在高速混合机中混合 15 min; 然后采用热压成型机将混合均匀后的原料在 180℃、28 MPa 下热压成型, 压制 5 min; 最后将热压成型的样品在 200℃下热处理 8 h。

表 1 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 改性酚醛树脂基摩擦材料的配方 份

配方编号	$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	硫酸钡	YSM	其它 ¹⁾
0 [#]	0	45	15	40
1 [#]	5	40	15	40
2 [#]	10	35	15	40
3 [#]	15	30	15	40

注: 1) 包括石墨、轮胎粉、硅灰石、芳纶、硬脂酸锌, 质量分数分别为 7%、5%、15%、8%、5%。

* 江苏省高校自然科学重大基础研究项目 (08KJA430005)、江苏省产学研联合创新资金计划项目 (BY2009137)

1.4 性能测试

摩擦磨损性能按 GB 5763-1998 中第 4 类盘式制动器用衬片规定的方法测试。每组试验均经过 5 次重复性试验,取其中 3 组相近数据的平均值作为试验结果。

试样磨损后的表面形貌用 SEM 观察并拍照。

2 结果与讨论

2.1 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 对材料摩擦系数和热衰退性能的影响

不同含量 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 改性 YSM 摩擦材料的摩擦系数随温度的变化曲线如图 1 所示。由图 1 可知,当温度为 100℃ 时,摩擦系数较小,摩擦主要发生在试样摩擦表面的微凸间,摩擦粘着面积很小。随着温度的升高 ($\leq 250^\circ\text{C}$),摩擦粘着面积增大,克服粘着的摩擦力必然增大,所以摩擦系数增加^[7]。当温度超过 300℃ 时,酚醛树脂中的小基团(亚甲基、羟基等)受到高温、高速和载荷的共同作用,迅速分解成焦油状物质粘结到摩擦材料的摩擦面,形成摩擦润滑膜,导致摩擦系数下降^[16]。

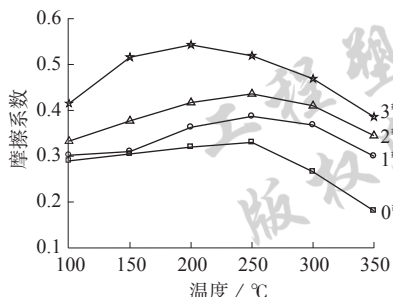


图1 试样摩擦系数随温度的变化曲线

不含 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 时,试样高温摩擦性能很差;在 350℃ 时摩擦系数仅为 0.181,不符合 GB 5763-1998 第 4 类标准要求。随着 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 含量的增加,材料的摩擦系数相应增加。当 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 质量分数为 10% 时,具有相对适中的摩擦系数^[1]。为了综合评估摩擦材料的热衰退性能和稳定性能,引入摩擦系数的稳定系数 (α_T) 和摩擦系数的变化系数 (γ) 来表征材料的热衰退性能^[17],其计算公式如下:

$$\alpha_T = \mu_P / \mu_{\min} \quad (1)$$

$$\gamma = \mu_{\max} / \mu_{\min} \quad (2)$$

式中: μ_P ——升温过程中的平均摩擦系数;

$\mu_{\min}$ 、 $\mu_{\max}$ ——分别为最小、最大摩擦系数。

α_T 和 γ 值越大,摩擦材料的摩擦系数越稳定,抗热衰退性能越好。不同配方摩擦材料的稳定系数和变化系数如图 2 所示。由图 2 可见,添加 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 后,摩擦材料的稳定系数和变化系数明显提高,说明

$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 能够起到稳定摩擦系数,提高材料抗热衰退性能的作用。这可能是由于 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的莫氏硬度较高,高温摩擦时磨粒摩擦效应明显,破坏或控制摩擦表面的润滑膜,使材料摩擦系数和热稳定性能提高。因此,在高温摩擦时,存在润滑膜形成所引起的摩擦系数降低和磨粒增加所引起的摩擦系数上升这 2 种趋势。

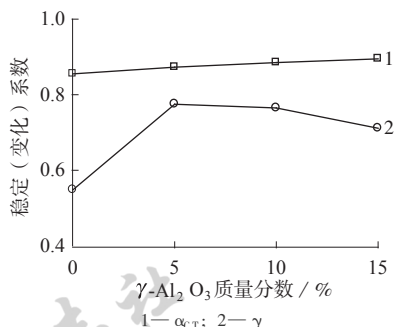


图2 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 含量对摩擦材料稳定系数和变化系数的影响

2.2 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 对材料磨损性能的影响

不同含量 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 改性 YSM 摩擦材料的磨损率随温度的变化曲线如图 3 所示。由图 3 可见,当温度低于 250℃ 时,所有试样都具有相对较小的磨损率。产生这种现象的原因可能是低温摩擦时在摩擦材料和摩擦盘之间产生大量的摩擦灰,经堆积、挤压形成一层很薄的摩擦膜,这层摩擦膜能够有效防止和减少摩擦材料与摩擦盘间硬性碰撞接触,因此大大减轻了磨损的发生^[6]。当温度高于 250℃ 时,磨损率随着温度的升高而迅速增加。这是因为摩擦温度越高,摩擦表面的酚醛树脂就越容易发生分解,不能较好地各种粉末粘结在一起,宏观上表现为磨损率增加。

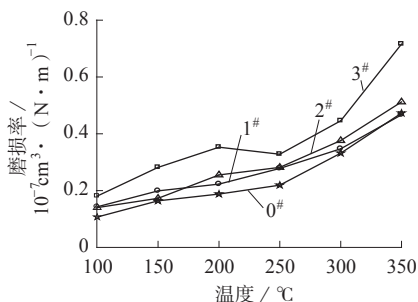
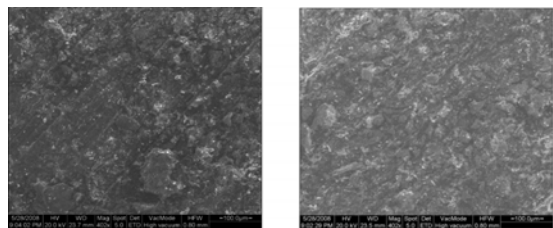


图3 不同含量 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 改性树脂基摩擦材料的磨损率

图 4 为试样经摩擦后磨损表面的 SEM 照片。由图 4 可看出,不含 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的材料在表面存在大量的摩擦润滑膜(鳞片状区域)。润滑膜的存在使得材料的摩擦系数迅速降低,热衰退现象明显,此时,摩擦材料的磨损形式为粘着磨损,磨损率相对较低。

添加 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 后,材料的磨损率增加。这是由于 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 具有较高的莫氏硬度,高温摩擦时在摩擦表面起到磨料作用,破坏或减少了树脂分解产生的润滑膜(图4b中鳞片状区域明显比4a的小,并且摩擦表面凹凸不平),使摩擦材料在较高的温度下能够保持较稳定的摩擦系数。此时,磨损形式主要为粘着磨损和磨粒磨损的复合磨损形式。



(a) (b)

a—无 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$; b—10% $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

图4 摩擦材料的磨损表面形貌 SEM 照片

3 结论

(1) $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 能够显著提高酚醛树脂基摩擦材料的摩擦系数。随着 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 含量的增加,各温度下的摩擦系数相应增加。当 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 质量分数为10%时,具有相对适中的摩擦系数。

(2) $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 能够明显提高摩擦材料的抗热衰退性能和稳定性能。当 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 质量分数在5%以上时,摩擦材料的稳定系数和变化系数变化不明显。

(3) 低温($\leq 250^\circ\text{C}$)磨损时, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 含量对摩擦材料的磨损率影响不大;高温($> 250^\circ\text{C}$)磨损时,磨损率随着 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 含量和温度的升高而迅速增大。摩擦材料的磨损形式由粘着磨损转化成粘着磨损和磨粒磨损的复合形式。

参考文献

- [1] 张丛见,吴其胜,张少明.汽车刹车片材料的研究与发展[J].非金属矿,2008,31(6):74-77.
- [2] Eriksson M, Bergman F. Surface characterization of brake pads after running under silent and squealing conditions[J]. Wear,

1999,232:163-167.

- [3] Chan D, Stachowiak G W. Review of automotive brake friction materials[J]. Proc Instn Mech Engrs Part D: J Automobile Engineering, 2004, 218:953-966.
- [4] 章少阳,陈维平,王福平.半金属盘式刹车材料的试验研究[J].摩擦学报,2009,29(2):186-192.
- [5] Hitachi M O, Hitachi T N, Tokyo M I, et al. Friction material composition and friction material using the same: US, 7338987 [P]. 2008-03-04.
- [6] 王占红,侯贵华.粉煤灰增强树脂基复合材料力学性能和摩擦学性能的研究[J].润滑与密封,2009,34(4):46-50.
- [7] 焦龙,吕亚非.磨料对陶瓷摩擦材料摩擦性能的影响[J].润滑与密封,2008,33(8):9-11.
- [8] 余大刚,林有希.酚醛树脂基摩擦材料高温摩擦性能的研究进展[J].工程塑料应用,2009,35(5):82-84.
- [9] Hee K W, Filip P. Performance of ceramic enhanced phenolic matrix brake lining materials for automotive brake linings[J]. Wear, 2005, 259:1088-1096.
- [10] Sunil K, Kesa V. Friction materials containing tin oxides: US, 7179850 [P]. 2007-02-20.
- [11] Tokushima H O, et al. Lepidocrocite type lithium potassium titanate, method for preparation thereof, and friction material: US, 7078009 [P]. 2006-07-18.
- [12] Boz M, Kurt A. The effect of Al_2O_3 on the friction performance of automotive brake friction materials[J]. Tribology International, 2007, 40:1161-1169.
- [13] 魏明坤,宋剑敏. Al_2O_3 基陶瓷摩擦材料的研制及性能研究[J].陶瓷,2006(10):24-26.
- [14] 陈晓虎.氧化铝陶瓷摩擦材料制备的初步研究[J].材料导报,2000,14(5):63-65.
- [15] 谈淑咏,方峰.铝基复合材料摩擦磨损性能研究[J].材料保护,2007,40(3):18-20.
- [16] Bijwe N J, Mazumdar N. Influence of amount and modification of resin on fade and recovery behavior of non-asbestos organic friction materials[J]. Tribology letters, 2006, 23:215-222.
- [17] 韩野,田晓峰,尹衍升,等.硅铝铝陶瓷纤维含量对半金属摩擦材料摩擦磨损性能的影响[J].摩擦学报,2008,28(1):63-67.

EFFECT OF ULTRAFINE $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ON TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF PHENOLIC RESIN-BASED FRICTION MATERIAL

Yao Wei, Wu Qisheng, Hou Guihua

(Key Laboratory of Ecological-Environment Material of Jiangsu, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, China)

ABSTRACT The phenolic resin-based friction materials containing ultrafine $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ were prepared by heat-press molding method. Effect of $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ varying contents on tribological properties of friction materials was studied using friction tester. Tribological behaviors and morphologies were observed by scanning electron microscopy. The results showed that with the increase of $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ contents, friction coefficient increased and heat fading resistant property was improved obviously, while wear rate improved little. SEM analysis showed that the wear mechanism was adhesive wear for composite without $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, while the wear mechanism for materials containing $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ was mixture of adhesive and abrasive wear.

KEYWORDS $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, phenolic resin, friction materials, friction and wear behavior