

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.07.018

铜粉对半金属摩擦材料摩擦学性能的影响

丁旭,陈杰,黄智,孙丽华
(贵州大学机械工程学院,贵阳 550025)

摘要:采用直接混合干法生产工艺制备出不同铜粉含量的半金属摩擦材料,用定速式摩擦试验机进行摩擦磨损试验,分析了铜粉含量对半金属摩擦材料摩擦学性能的影响,并通过观察磨损形貌照片分析其磨损机制。结果表明,铜粉能够提高半金属摩擦材料制品在中温以及高温的摩擦系数,能够显著改善材料的抗热衰退性和稳定性,能够降低半金属摩擦材料中温阶段的磨损率。当铜粉质量分数为3%时,半金属摩擦材料的摩擦学性能最佳。

关键词:铜粉;半金属摩擦材料;摩擦学性能

中图分类号: TH117.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)07-0078-04

Effect of Copper Powder on Tribological Behavior of Semimetal Friction Material

Ding Xu, Chen Jie, Huang Zhi, Sun Lihua
(College of Mechanical Engineering of Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: Semimetal friction material containing different content of copper powder was prepared by using directly mixed method. Effects of copper powder content on tribological behavior were studied by using friction tester, morphologies of wear surface were observed, and wear mechanism was analyzed. The results show that by adding copper powder, friction coefficient at medium and high temperature is rising, heat fading and stability of material are improved, wear rate at medium temperature is reduced. When the content of copper powder is 3%, the tribological behavior of semimetal friction material is best.

Keywords: copper powder; semimetal friction material; tribological property

目前,半金属摩擦材料是我国国内发展最为迅速、运用最为广泛的一类无石棉化汽车摩擦材料,其具备较好的热稳定性和耐磨性、较强的抗热衰退能力,以及优良的恢复性等特点^[1]。

铜粉由于其优良的特性,常用于粉末冶金摩擦材料中^[2-3],而在半金属摩擦材料中的运用还很少。铜具有高导热性、良好的塑性,以及增韧和耐磨等优点^[4],但铜污染也渐渐被人们关注,美国环保部门逐渐限制了铜在摩擦片中的使用,到2021年制动材料中铜含量不超过5%^[5]。为了改善半金属摩擦材料的摩擦学能力,笔者选用钢纤维作为主要增强材料,酚醛树脂与粉末丁腈橡胶共混作为粘结剂,添加适当摩擦调节剂和少量铜粉,制备出了铜粉改性的半金属摩擦材料,并测试了其摩擦磨损性能,分析了铜粉含量对半金属摩擦材料的性能影响。

1 实验部分

1.1 原材料

酚醛树脂: PF-6530A, 流动度 33~53 mm, 圣泉化工股份有限公司;

粉末丁腈橡胶: 细度 40 目 (420 μm), 衡水瑞

恩橡塑科技有限公司;

钢纤维: 长径比为 40~80, 大亚金属纤维有限公司;

铜纤维: 长度为 1~100 mm, 顾鼎金属磁材有限公司;

铜粉: 200 目 (75 μm) 的铜锡 10 粉, 牌号为 QSn10, 北京兴荣源有限公司;

非石棉复合纤维: 多瓣的细丝, 单丝纤度为 0.3~0.1, 三和工程纤维厂;

泡沫铁粉: 松密度 1.8~2.0, 细度 40~120 目 (420~125 μm), 北京金科复合材料有限公司;

重晶石粉: 细度 325 目 (44 μm), 三江矿粉厂;

蛭石: 细度 16~40 目 (1180~420 μm), 金利矿业有限公司;

氮化硼: 细度 300 目 (50 μm), 北京兴荣源有限公司;

硫化锑: 细度 325 目 (44 μm), 上海齐治化工

联系人: 丁旭, 副教授, 硕士生导师, 主要从事材料及成型方面教学及科研工作

收稿日期: 2013-05-10

有限公司。

1.2 主要设备及仪器

定速式摩擦试验机: Xd-msm 型, 咸阳新益摩擦密封材料设备研究所;

热压机: Y71-170T 型, 华大液压机械厂;

干燥箱: DHG-9035A 型, 上海一恒科学仪器有限公司;

热处理烘箱: XS-HD 型, 常德市仪器厂;

电子天秤: AL204 型, 上海美特勒-托利多仪器有限公司;

砂轮机: S3SL-250 型, 上海砂轮厂;

扫描电子显微镜 (SEM): JSM-6490LV 型, 日本电子公司。

1.3 试样制备

试验以自制的摩擦材料为基础配方^[6], 利用单因素法调节铜粉含量, 具体配方详见表 1。

表 1 试样配方

试样号	酚醛树脂	丁腈	钢纤维	铜纤维	非石棉纤维	铜粉	其它填料
b1	15	2	11	3	6	0	余量
b2	15	2	11	3	6	1	余量
b3	15	2	11	3	6	3	余量
b4	15	2	11	3	6	5	余量

其中酚醛树脂和丁腈作为粘结剂, 钢纤维、铜纤维和非石棉纤维等作为增强纤维, 铜粉、氮化硼和硫化锑等矿物粉作为摩擦调节剂, 采用干法生产工艺制备试样, 工艺流程如图 1 所示。根据表 1 配方, 采用天平称取原材料, 将称取的原材料 (不含酚醛树脂) 在干燥箱中于 80℃ 温度干燥 30 min, 再采取直接混合法在混料机中进行混料。然后将混合后的复合材料经热压机在温度 180℃、压力约 20 MPa 下热压固化成型, 保压时间为 8~9 min; 在保压过程中释放 3 次压力, 间隔时间约为 5 s。最后在加热箱中进行热处理获得摩擦材料样品。热处理的具体工艺过程是 120℃ 保温 60 min, 140℃ 保温 60 min, 170℃ 保温 240 min。

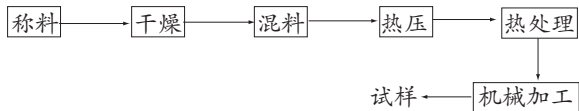


图 1 试样制备工艺流程

1.4 摩擦学性能测试

根据 GB 5763-1998 在定速式摩擦试验机上进行摩擦磨损试验, 试样尺寸为 25 mm × 25 mm × (5~7) mm。对偶材质选择 HT250 钢 (硬度为

HB209), 压紧力为 0.98 MPa, 转速为 480~500 r/min, 温度以 50℃ 为间隔, 从 100℃ 升到 350℃, 每个设定温度下旋转 5 000 r, 在间隔温度时记录试样的磨损率和摩擦系数, 升温试验结束后将摩擦盘的温度从 300℃ 降至 100℃, 以考察摩擦材料的恢复性能。

以稳定系数 α ^[7] (摩擦系数平均值 μ_{cp} 与摩擦系数最高值 μ_{max} 之比) 来表征材料的热衰退性能, 即:

$$\alpha = \frac{\mu_{cp}}{\mu_{max}} \quad (1)$$

采用恢复系数 β ^[7] (各温度点在升温过程中的摩擦系数 $\mu_{Ti(fade)}$ 和降温过程的摩擦系数 $\mu_{Ti(recovery)}$ 之差的绝对值平均数倒数) 来作为恢复性能的考察参数, 即:

$$\beta = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\mu_{Ti(fade)} - \mu_{Ti(recovery)}|} \quad (2)$$

2 结果与讨论

2.1 摩擦系数

图 2 示出不同试样升温时的摩擦系数趋势曲线。从图 2 可以看到, 铜粉对半金属摩擦材料的摩擦系数有着明显的影响。未添加铜粉的 b1 试样在 250℃ 时摩擦系数骤降, 过后摩擦系数又缓慢回升。在 200℃ 以后, b1 试样的摩擦系数几乎都要低于其余 3 种试样, 因此可以得出, 铜粉可以提高摩擦材料制品在中温以及高温的摩擦系数。添加了铜粉的 3 种试样的摩擦系数差别不大, 总体变化规律不是很明显。

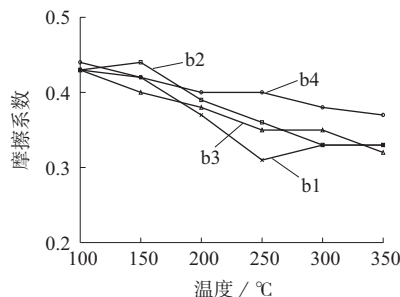


图 2 不同试样升温时的摩擦系数

2.2 稳定性和恢复性能

图 3 示出不同试样的稳定系数和恢复系数与铜粉含量的关系。由图 3 可以看到, 当铜粉质量分数为 5% 时稳定性最好, 铜粉质量分数为 1% 和 3% 时稳定系数几乎无差别, 不含铜粉时稳定性最差。说明铜粉可以有效改善半金属摩擦材料的稳定性, 并

且随着加入量的增多,稳定性有变好的趋势。从图3还可以看到,恢复系数曲线呈现不规则变化,当铜粉质量分数为1%时恢复性最差,而质量分数为3%时恢复性性能最好。

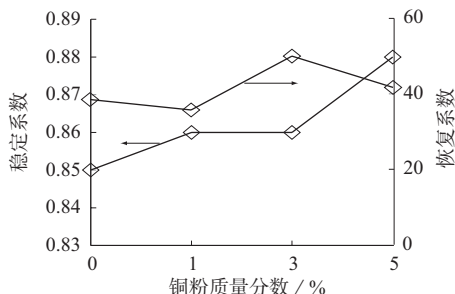


图3 铜粉含量对稳定系数和恢复系数的影响

2.3 磨损性能

图4示出不同试样的磨损率曲线。从图4可以看到,4条曲线都呈单调上升趋势,磨损率都在350℃时达到最大,纵观4条曲线,在低温阶段(100℃和150℃)和高温阶段(300℃和350℃)4条曲线并无明显差异,而在中温阶段(200℃和250℃),不含铜粉的b1试样的磨损率明显要高于含铜粉试样的磨损率。因此可以推断出铜粉可以改善摩擦材料中温阶段的磨损率。

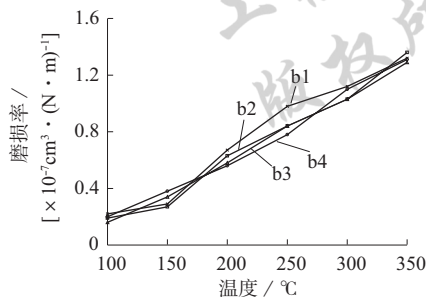


图4 不同试样升温时的磨损率

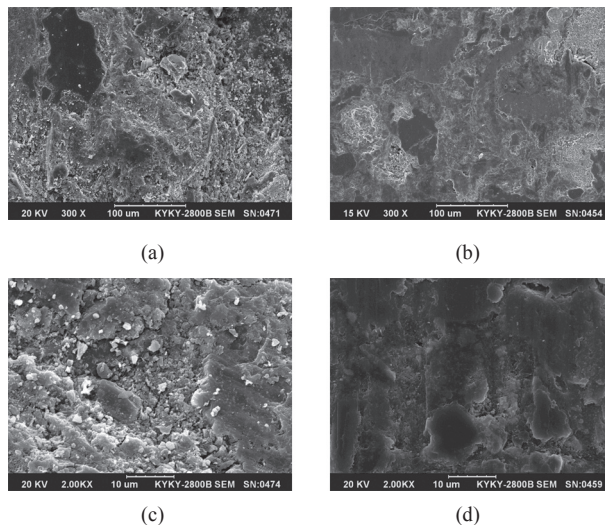
2.4 摩擦磨损机制分析

综合以上数据可以判断出添加3%铜粉的b3试样的摩擦磨损性能相对较佳,而未添加铜粉的b1试样性能最差。图5示出b1, b3试样的磨痕表面SEM照片。

半金属摩擦材料的摩擦系数是对偶摩擦表面相互接触、啮合和粘着相关的参数。根据粘着摩擦理论,摩擦力被认为是粘着效应和犁沟效应所产生的阻力^[8]。加入适量铜粉,除能够提高材料导热而降低摩擦表面的温度,从而延迟树脂粘接剂的分解外,还有一定的减摩作用,因此b3试样的表面微凸部分的强度也随之而提高,当两物体间进行相对运动啮合的时候,材料的微凸体随着强度的增加必然

会给运动产生更大的阻力,从而提高了材料的摩擦系数,同时较高温度时锡青铜的氧化物会使摩擦系数增加,综合下来对摩擦试样的摩擦系数有一定的稳定作用^[3]。另一方面,未添加铜粉的试样,粘结度较弱,硬度较差,压制性能较差,其基体出现如图5a,5c所示的在中高温下脱落现象,而脱落的材料使得材料切向的阻力变小,因此也导致了其在中温和高温下摩擦系数明显低于添加铜粉的试样。

从图5可以看到, b3试样的磨损状况明显要好于b1试样。b1试样表面呈片状,并出现了裂纹,甚至部分区域已经出现了脱落现象。而b3试样比未加入铜粉的b1表面要平整很多。这说明了b1试样表面发生了严重的粘着磨损,在摩擦热的影响下,试样表面出现了大量变形,并且材料高温下粘结性能下降,导致了脱落现象的产生^[9];而b3试样,由于加入了铜粉,其硬度、强度较高,铜粉在表面就形成了磨料的作用,增强了材料的抗热衰退性能,铜锡合金也容易与试样的基体在中温阶段形成一层紧密的氧化膜,可以减缓试样的表面脱落,因此添加铜粉以后,其中温阶段的磨损率得到了明显的改善,其表面磨损状况在高温后也较轻微。



a—b1,放大300倍; b—b3,放大300倍;

c—b1,放大2000倍; d—b3,放大2000倍

图5 不同试样磨损表面SEM照片

3 结论

(1) 铜粉能够提高半金属摩擦材料制品在中温及高温的摩擦系数,能够显著改善材料的抗热衰退性和稳定性。且随着铜粉加入量的增多,其摩擦系数稳定性有变好的趋势,其稳定性最高可提高4%。

(2) 当铜粉质量分数为3%时,半金属摩擦材料

的恢复性最佳,比未添加铜粉时提高 30%。

(3) 铜粉的加入能够降低半金属摩擦材料中温阶段的磨损率。

(4) 添加过量的铜粉会明显增加材料成本及导致过多的环境铜污染,因此在实际应用中,综合考虑摩擦磨损性能,铜粉添加量在 3% 左右时对半金属摩擦材料的摩擦学性能较合适。

参考文献

- [1] 贾贤,陈永潭,任露泉,等.半金属摩擦材料研究概述[J].吉林工业大学学报,1994(1):114-119.
Jia Xian, Chen Yongtan, Ren Luquan, et al. A summary of study on semimetallic friction materials[J]. Journal of Jilin University of Technology, 1994(1):114-119.
- [2] 曲在纲,黄月初.粉末冶金摩擦材料[M].北京:冶金工业出版社,2004.
Qu Zaigang, Huang Yuechu. Powder metallurgy friction materials[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2004.
- [3] 李世鹏.铜基粉末冶金摩擦材料基体及其摩擦磨损性能研究[D].长沙:中南大学,2004.
Li Shipeng. Powder metallurgy friction material matrix and its friction and wear performance[D]. Changsha: Central South University, 2004.
- [4] Osterle W, Prietzela C, Klob H. On the role of copper in brake friction materials[J]. Tribology International, 2010, 43(12): 2317-2326.
- [5] Yun R, Filip P, Lu Y. Performance and evaluation of eco-friendly brake Friction materials[J]. Tribology International, 2010, 43(11): 2010-2019.
- [6] 黄智,丁旭,周元康,等.硫化锑含量对汽车摩擦材料摩擦学性能的影响[J].机械工程材料,2012(9):58-60.
Huang Zhi, Ding Xu, Zhou Yuankang, et al. Effect of antimony sulfide content on tribology properties of automotive friction material[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2012(9):58-60.
- [7] 韩野,田晓峰,尹衍升.硅氧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].摩擦学学报,2008(1):63-67.
Han Ye, Tian Xiaofeng, Yin Yansheng. Effect of ceramic fiber content on tribology properties of semi-metal friction material[J]. Tribology, 2008(1):63-67.
- [8] 温诗铸,黄平.摩擦学原理[M].北京:清华大学出版社,2008.
Wen Shizhu, Huang Ping. Principles of Tribology[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008.
- [9] 刘家浚.材料磨损原理及其耐磨性[M].北京:清华大学出版社,1993.
Liu Jiajun. Principle of material wear and abrasion resistance[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1993.

帝斯曼推出汽车管道用高性能热塑性共聚酯弹性体

近日,全球领先的生命科学与材料科学公司帝斯曼推出 Arnitel®C 系列 CM622,一种用于高热环境汽车管道与软管的材料。

汽车行业正努力在不影响安全与舒适的基础上提高车辆的燃油效率并减少有害物质排放,因此出现了一些关键的发展趋势,其中包括对车身各部分进行精简。精简的结果之一是安装空间的减少和相应部位温度的大幅升高,这就需要使用性能更优秀的材料,或直接采用价格昂贵的隔热层。

凭借汽车领域的丰富经验和高性能材料方面的深厚知识,帝斯曼将“缤纷科技”的理念运用到 Arnitel®C 热塑性共聚酯弹性体的开发中。这款新材料的性能超越了 PA12, PA11, PA612, PA610, PA1010, PA1012 及许多其它高耐热性的柔性材料,并已成功应用于车辆的真空制动管。

Arnitel®C 材料非常柔软,而且不含增塑剂。这款创新产品性能极佳,既可承受低温,也可承受高达 225℃ 的温度,且耐热老化性能出众,能满足车辆对引擎盖下管道材料提出的各种严格标准。

Arnite®C 可在标准挤出设备中进行加工,并且无需添加增塑剂即可具备出色的抗老化性能、峰值性能、力学强度以及最佳的柔韧性。在当今汽车行业的精简和功能集约化趋势下,Arnitel C 由于无需使用隔热层并能提供更大的设计自由而作出了巨大贡献,它节省了安装空间、降低了车身重量并减少了总成本。

帝斯曼特种挤出材料全球业务经理 Paul Habets 表示:“当我们向客户介绍这种新材料时,他们通常不相信柔韧性这么好的产品会具有这么高的热性能。所以当我们邀请他们对这款材料进行测试时,他们常常都大吃一惊。”

他补充道:“帝斯曼与汽车行业密切合作有超过 25 年的历史。Arnitel®C 的诞生能够帮助我们提供可持续的解决方案。由于它不含增塑剂并且完全可回收,因而降低了我们的碳足迹,并且有望降低成本。” (PUWORLD)

SABIC 推出新型耐冲击聚合物

据沙特基础工业公司 (SABIC) 官网消息,日前,公司推出了新款耐冲击级聚丙烯 (PP) 共聚物 PP77MK40T,该产品创下了同类产品首个在当地生产的先例,将快速打入中国市场。

SABIC 亚太区聚合部 PP 总监林致菀表示:“顾客越来越倾向于经济型、实用型并且耐用环保的产品。”

据介绍,PP77MK40T 采用 Spherizone 多区循环反应器工艺制造。该技术赋予 PP77MK40T 卓越的色牢度和出色的耐冲击性,即使在低温下表现也毫不逊色。该物质内在的固有强大张力使它拥有更有利的强度质量比,这使得产品及半成品能够在不降低强度的情况下缩小厚度及质量并得以生产。由此,生产所需的原材料减少,降低废弃物的产生及对环境的影响。

PP77MK40T 适合用来生产庭院家具、家居用品、电池壳、集装箱、玩具、板条箱和盒子等。 (慧聪网)