

一种少金属树脂基摩擦材料的实验研究

林娇,高诚辉,郑开魁,何福善,江威

(福州大学 机械工程及自动化学院,福建 福州 350108)

摘要:随着汽车制动摩擦材料的更新换代,环保型摩擦材料越来越受人们的青睐。为了进一步减少金属纤维在摩擦材料中的使用,减少污染,通过正交优化实验,研究了氧化镧、改性树脂、陶瓷纤维和竹纤维含量及其交互作用对树脂基复合材料低温摩擦系数和高温磨损的影响,利用CHASE实验机测试验证了优化配方的热稳定性。研究结果表明,低温下,树脂含量、氧化镧与陶瓷纤维的交互作用对摩擦系数影响最大;高温下,氧化镧和树脂的含量对材料的磨损率影响最大;优化配方的抗热衰退与热恢复性能较好,高温下仍能保持较高的摩擦系数,且各个温度段下磨损率较低,其摩擦磨损性能超过普通半金属刹车片。

关键词:摩擦材料;竹纤维;少金属;摩擦磨损

中图分类号:TH117.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2019)05-0048-03

Experimental Study of Less Metallic Resin-based Friction Material

LIN Jiao, GAO Chenghui, ZHENG Kaikui, HE Fushan, JIANG Wei

(College of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: With the development of automobile brake friction materials, more and more environmental protective friction materials are favored by people. To further reduce the use of metal fibers in friction materials and pollution, This paper makes orthogonal experiments and a study of the effects of rare earth lanthanum oxide, modified resin, ceramic fiber and bamboo fiber and their interaction on the friction coefficient at low temperature and the wear at high temperature of the composites. The thermal stability of the optimized formulation is verified by the test of Chase machine. The results show that the resin content and the interaction between lanthanum oxide and ceramic fiber at low temperature have the greatest influence on the friction coefficient of the material and the content of lanthanum oxide and resin has the greatest effect on the wear of the material at high temperature. The optimized formula has good thermal degradation resistance and thermal recovery performance, it also can maintain higher friction coefficient at high temperature and lower wear at each temperature, and its friction and wear properties exceed ones of the ordinary half-metal brake pads.

Keywords: friction material; bamboo fiber; less metal; friction and wear

0 引言

随着汽车工业的发展,汽车制动摩擦材料经历了一代又一代的更新,从早期的石棉型制动摩擦材料到20世纪70年代出现的半金属型制动摩擦材料,再到80年代以来的各种新型无石棉有机物型制动摩擦材料,基本上每一代的更新都围绕着一个共同的主题“安全、舒适、环保”^[1]。如早期石棉及其粉尘在1972年被确定为致癌物以后,绝大多数国家开始禁止石棉在摩擦材料中使用^[2];又如人们发现摩擦材料中铜、镉等重金属元素会对人体和动植物造成伤害^[3-4],这都说明了摩擦材料不仅要具有更加优异的摩擦学性能和力学性能,还要求对环境造成的污染越来越少,对人体健康的损害越来越小,因此绿色制动摩擦材料的研究逐渐成为现代摩擦材料的主流趋势。

天然植物纤维具有比强度高、质轻价廉、可生物降解、来源广等特点,在摩擦材料的研究中得到了广泛的应

用^[5-8]。竹纤维是天然植物纤维的一种,在水泥复合材料、塑料、复合板材及纺织业等领域中有较多应用,本课题组前期通过大量实验研究了竹纤维作为增强相对树脂基摩擦材料摩擦磨损性能的影响^[9],研究发现竹纤维能够改善树脂基摩擦材料在低温下的摩擦磨损性能,提高摩擦系数稳定性。然而与其他天然植物纤维一样,竹纤维的主要成分是纤维素、半纤维素和木质素,这类成分中含有大量极性羟基和酚羟基官能团,由于大量未反应的氢键作用,天然植物纤维表现出较强的亲水性和不易被基体聚合物的润湿性。随着时间的推移,纤维增强材料的键合作用逐渐解除,导致天然纤维与基体聚合物间的界面结合力降低^[10]。因此,在研究天然植物纤维增强树脂基摩擦材料的基础上,本课题组又对竹纤维进行了多种改性,包括碱处理、聚氯乙烯包覆处理等^[11-13]。

本文基于对竹纤维改性的基础上,为进一步减少金属纤维的使用,实现制动材料无铜化,以腰果壳油改性酚醛树脂为粘结剂,陶瓷纤维和竹纤维为增强相,采用正交优

基金项目:福建省高端装备制造协同创新中心项目

作者简介:林娇(1992—),女,江苏徐州人,硕士研究生,主要研究方向为摩擦学。

化实验法探讨部分配方因素及其交互作用对树脂基摩擦材料摩擦磨损性能的影响,以期获得一种新型少金属环保型摩擦材料配方。

1 实验

1.1 实验材料及制备

实验所用粘结剂为腰果壳油改性酚醛树脂,增强相为陶瓷纤维和改性竹纤维,填料为氧化镧、氧化铝、重晶石粉、石墨等。本次实验主要考察氧化镧、树脂、陶瓷纤维和竹纤维 4 个因素及氧化镧与其他 3 个因素的交互作用对复合材料摩擦磨损性能的影响,每个因素取 3 个水平,采用 $L_{27}(3^{13})$ 正交表,因素水平及表头设计见表 1、表 2。

表 1 正交实验因素水平表 单位:质量份

因素水平	A(氧化镧)	B(树脂)	C(陶瓷纤维)	D(竹纤维)
1	15	15	5	5
2	20	20	10	7
3	25	25	15	10

表 2 正交表头设计

列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
因素	A	B	A×B	C	A×C	D	A×D	空列	空列	空列	空列	空列	空列

实验采用干法热压成型工艺制备树脂基复合材料,热压后的制品在电热恒温鼓风干燥箱进行 160℃ 保温 12 h 的热处理,经机加工制成标准试样。

1.2 测试方法

采用 X-DM 型调压变速摩擦实验机根据 GB5763-2008 对摩擦材料的摩擦系数和磨损性能进行测试,在 XYC-A 型 CHASE 摩擦实验机上对分析出的优化配方进行变温变载荷摩擦磨损特性实验,实验过程按照 SAE J661-1987 制动器衬片质量控制测试规程执行。

2 结果与讨论

2.1 正交实验结果与讨论

正交实验结果的分析方法一般有极差分析法和方差分析法。相比之下,方差分析法能更好地将因素水平变化(或交互作用)所引起的实验结果间的差异与误差的波动区分开来^[14],因此本文采用此方法对实验结果进行分析。

通过正交优化实验,得到各温度下各因素对制动摩擦材料摩擦因数和磨损率影响的主次顺序及其优化方案,如表 3 所示。由于一般家用轿车制动温度在 200℃ 以下,因而低温摩擦系数是一个很重要的技术指标。另外,实验结果显示中低温下试样磨损率较低,均在 $0.25 \times 10^{-7}/(\text{N} \cdot \text{m})$ 以下,相对而言高温下试样磨损较为严重,因此本实验选取 100℃ 与 150℃ 下摩擦系数和 300℃ 与 350℃ 下磨损率为指标,影响因素显著性从上至下逐级递减,*** 表示影响最大,△表示影响最小,A×B、A×C、A×D 分

别表示 A 与 B、A 与 C、A 与 D 的交互作用。

表 3 各因素对试样摩擦系数的影响及优化方案

项目名称	温度			
	100℃ 摩擦系数	150℃ 摩擦系数	300℃ 磨损率	350℃ 磨损率
影响因素	A×C **	B **	D ***	A ***
显著性	D *	A×B *	B **	B ***
	A×D *	D *	A×B **	D *
	B△	A△	C *	C△
优化方案	A1B1C2D3	A2B1C3D3 A2B1C1D3	A1B2C1D2	A1B2C1D2

从表 3 可以看出,在低温段(100℃~150℃)下,树脂(B)含量、氧化镧(A)与陶瓷纤维(C)的交互作用对试样的摩擦系数影响显著,氧化镧、竹纤维(D)的含量及两者间的交互作用也在一定程度上影响着试样的摩擦系数。综合来看,较低含量的树脂和较高含量的竹纤维更有利于提高低温下材料的摩擦系数,这是因为在低温时,树脂未发生热分解,对其他成分可以起到良好的润湿包覆作用,且经过改性的竹纤维其表面更加粗糙,纤维比表面积增大,纤维与树脂的有效接触面积增加,两者之间的界面结合力得到有效增强,表现出优良的摩擦性能。

在 300℃ 和 350℃ 高温下,氧化镧含量和树脂含量对试样的磨损率影响显著,竹纤维、陶瓷纤维含量对试样的磨损率有一定影响。这是因为氧化镧具有近似层状的六方晶体结构,具有一定的润滑作用。在高温时,试样表面黏着磨损现象加剧,氧化镧作为固体润滑剂使得复合材料能更好地抵抗摩擦力对试样表面的剪切作用,减少材料转移,降低磨损;由于树脂在高温下易热分解,影响复合材料的热衰退性,因此树脂含量在高温下对复合材料磨损的影响也很大。

2.2 优化配方实验结果与讨论

对优化方案 A1B1C2D3、A2B1C3D3、A2B1C1D3 和 A1B2C1D2 编号为优 1、优 2、优 3、优 4,其配方成分见表 4。分别对 4 个试样进行 X-DM 型调压变速摩擦磨损实验,实验结果见图 1a) 和图 1b)。

表 4 优化方案试样配方 单位:质量份

试样	氧化镧	树脂	陶瓷纤维	竹纤维
优 1	15	15	10	10
优 2	20	15	15	10
优 3	20	15	5	10
优 4	15	20	5	7
试样	氧化铝	硫酸钡	橡胶粉	石墨
优 1	20	30	5	3
优 2	20	30	5	3
优 3	20	30	5	3
优 4	20	30	5	3

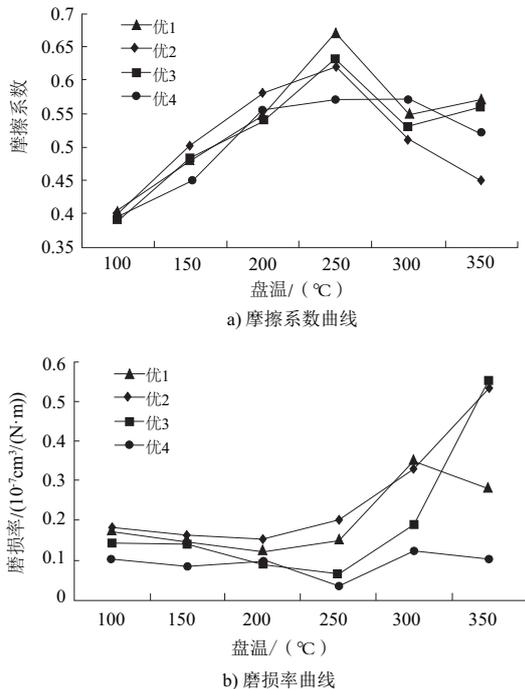


图1 试样的摩擦系数和磨损率随温度的变化曲线

由图1可以看出,4个试样的整体摩擦系数较高,整体磨损率较低。摩擦系数均呈现先增大后减小的趋势,除优4试样外,其他3个试样的摩擦系数都在250℃达到最大值并开始出现摩擦系数骤降现象,这与树脂的热分解有关,但其高温下的摩擦系数仍然保持较高水平,在0.45以上。而优4试样从整体上来说其摩擦系数和磨损率稳定性最好,并且在300℃以后才出现轻微的热衰退,说明优4试样具有更好的抗热衰退性。为了更全面地反应优4试样的摩擦磨损性能,采用XYC-A型CHASE摩擦实验机对其摩擦磨损性能进行测试,实验结果如图2所示。由于摩擦材料只有在多次制动后才能更好地显示它的热稳定性,所以本文只给出第2次衰退实验和第2次恢复实验的结果。

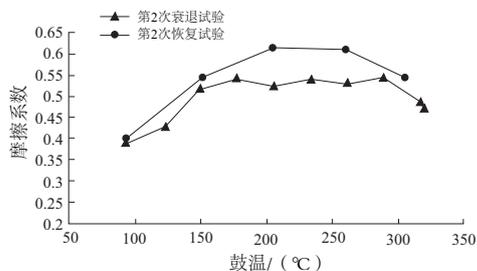


图2 优4试样衰退恢复曲线

由图2可以看出,在第2次衰退实验中,随着鼓温的升高,摩擦系数呈先增大后小幅度减小并保持稳定的趋势,整体来看,摩擦系数保持在0.39~0.54较高水平,在高温阶段(290℃~340℃),试样出现热衰退现象,摩擦系数降低,但仍然在0.45以上,高于低温摩擦系数。在第2次恢复实验中,随着鼓温的降低,摩擦系数呈先增大后减小的趋势,在200℃左右达到最大值;在200℃以后其恢复

速率很快,且出现了轻微过恢复现象,即冷却后的摩擦系数比原来的高。这可能是因为经过二次衰退实验的高温阶段磨损后,树脂由于热分解导致其含量减少,相应地,原料配方中的陶瓷纤维和氧化铝等硬质成分的相对含量增加,这些成分在高温下不会发生软化分解。另外,由于高温下的磨损以黏着磨损为主,黏着点经多次剪切作用形成更多磨屑,因此在低温时,这些较硬的磨屑变成硬质磨粒加速磨料磨损作用,犁削作用增强,因而二次恢复实验后的摩擦系数比原来低温下的摩擦系数高。

此外,最终实验结果显示该试样的正常摩擦系数是0.47,热摩擦系数是0.55,其性能远高于市场上普通的半金属刹车片,而其质量磨损率也仅为7.52%,说明该实验研究的树脂基复合材料具有优异的摩擦性能,且少金属、低成本,具有很大的研究价值和市场潜力。

3 结语

本文通过正交优化方法研制出一种新型少金属树脂基摩擦材料,研究发现,在低温下,树脂含量、氧化镧与陶瓷纤维的交互作用对树脂基复合材料的摩擦系数影响较大,较低树脂含量和较高纤维含量更有利于提高低温摩擦系数;在高温下,氧化镧和树脂的含量对材料的磨损影响最大。实验研究的摩擦材料在高温下能保持较高的摩擦系数,在0.45以上,且优化配方在各温度段下能保持最低的磨损率,均在 $0.15 \times 10^{-7} / (\text{N} \cdot \text{m})$ 以下,抗热衰退性能及热恢复性能较好,是一种具有很大市场潜力的新型树脂基摩擦材料。

参考文献:

- [1] 李兵,杨圣崇,曲波,等. 汽车摩擦材料现状与发展趋势[J]. 材料导报,2012,26(1):348-350.
- [2] 刘震云,黄伯云,苏堤,等. 汽车摩擦材料增强纤维研究综述[J]. 材料工艺设备,1999(1):19-22.
- [3] Weckwerth G. Verification of traffic emitted aerosol components in the ambient air of Cologne (Germany) [J]. Atmospheric Environment, 2001, 35(32):5525-5536.
- [4] Hjortenkrans D, Bergbäck B, Häggerud A. New metal emission patterns in road traffic environments [J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2006, 117(1/2/3):85.
- [5] 柴兴旺,闫志峰,林福东,等. 结构仿生黄麻纤维摩擦材料性能研究[J]. 农业机械学报,2012,43(A1):348-351.
- [6] Matějka V, Fu Z, Kukutschová J, et al. Jute fibers and powderized hazelnut shells as natural fillers in non-asbestos organic non-metallic friction composites [J]. Materials & Design, 2013, 51: 847-853.
- [7] S.Betancourt, J.Cruz, A.Toro Friction and wear in sliding contact of cast iron against phenolic resin composites reinforced with carbonaceous fibers from plantain fiber bundles [J]. Lubrication Science, 2013, 25(25):163-172.
- [8] V. Felix Swamidoss, Prasanth. Fabrication and characterization of brake pad using pineapple leaf fiber (PALF) (J). International Journal of Research in Computer Application and Robotics, 2015, 3(3):107-111.

(下转第53页)