复合材料学报 第17卷 第2期 5月 2000年
ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA Vol 17 No. 2 May 2000

文章编号: 1000-3851(2000)02-0094-04

1-2-3型摩擦制动复合材料的研究

曹献坤[1], 闻荻江[2], 姚安佑[1]

([1]武汉工业大学 机电学院, 武汉 430070) ([2]苏州大学 材料学院, 苏州 215006)

摘 要: 针对近年来摩擦制动材料的发展要求, 选用2维的片状蛭石与1维的Kevlar纤维混杂作为增强体, 在配方及工艺研究的基础上, 成功地研制出1-2-3型复合增强摩擦材料。其性能及机理研究表明: 此摩擦材料力学性能高, 摩擦性能稳定, 特别是高温磨损小, 是一种具有广阔发展前景的摩擦制动材料。

关键词: 1-2-3型复合材料; 摩擦材料; 蛭石; Kevlar纤维

中图分类号: TB332 **文献标识码**: A

STUDY ON THE 1-2-3 MODEL FRICTION BRAKE COMPOSITE MATERIAL

CAO Xian-kun[1], WEN Di-jiang[2], YAO An-you[1]

([1]School of Mechanical & Electrical Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070)

([2]School of Material Engineering, Suzhou University, Suzhou 215006)

Abstract: According to the recent development trend and need of the frictional brake material, the 1-2-3 model brake fraction multi-material has been made out by adjusting the recipe and techniques. The mixing of two-dimensional flake material-vermiculite and one-dimensional Kevlar fiber is used as the reinforced bulk. The modified resin is used as the basal bulk. Tests manifest that the properties of mechanics are high, and friction factors are suitable and stable. Especially in high temperatures wear is low. It is an excellent friction brake material.

Key words: 1-2-3 model composite material; friction material; vermiculite; Kevlar fiber

用于汽车、火车、飞机等交通运输工具及动力机械设备中的制动材料, 由于涉及其整机系统的稳定性和安全可靠性而逐渐为人们所关注。随着车辆逐渐向高速、重载、安全舒适等方向发展, 制动摩擦材料的性能要求亦越来越高, 其中特别是高温制动稳定性和制动的环保要求日益突出。

传统应用的石棉摩擦材料, 由于被证明对人体有致癌危害[1], 而且高温制动易产生性能"热衰退"。因此各国近年来都在积极致力于无石棉摩擦材料的研究, 相继开发出半金属、玻纤, 有机纤维等十几种无石棉纤维增强的摩擦材料。其中半金属材料, 由于具有散热性能好, 摩擦系数稳定, 耐磨性好等特点, 是国内唯一已推广应用的无石棉制动材料[2, 3]。但在其研究与应用中发现, 半金属材料存在密度大、易锈蚀, 损伤对偶, 特别是易产生制动噪声, 严重限制了它的进一步发展与应用。

作者在系统研究摩擦复合材料的基础上, 从摩擦磨损及混杂理论出发。选择2维唯象的片状蛭石与1维唯象的Kevlar纤维混杂增强, 在配方及工艺研究的基础上, 研制出性能较优的1-2-3型复合无石棉混杂增强摩擦制动材料。试验结果表明, 其性能完全满足摩擦材料使用的国标要求, 且成本低、无污染、无危害, 进一步的推广应用将具有广阔的应用前景。

1 试 验

1.1 原材料

蛭石为工业矿产蛭石, Kevlar纤维为美国杜邦公司产品, 基体树脂为自行合成的酚醛树脂的三聚氰胺——腰果壳油改性物。

1.2 原材料的处理

由于工业矿产蛭石通常以若干层片单体叠合型式存在, 层间有大量空隙。在高温下, 层间小分子脱失, 形成膨胀体。根据增强材料的性能要求, 故对选

收稿日期: 1999-10-07; **收修改稿日期**: 1999-12-03
基金项目: 湖北省自然科学基金资助项目(96J025)
作者介绍: 曹献坤(1966), 女, 在读博士, 讲师, 研究方向: 摩擦学。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

定的蛭石原矿进行一系列处理, 具体工艺流程如下:

蛭石原矿 → 破碎 → 除杂 → 蛭石精矿 → 膨胀 → 剥离 → 膨胀蛭石 → 表面处理

其中, 膨胀处理与剥离两个过程是整个工艺中的关键, 在试验的基础上, 采用综合膨胀与剪切剥离工艺, 保证了蛭石的完全膨胀和适宜的弹性模量[4]。

Kevlar 纤维的化学结构为对苯二甲酰对苯二胺。Kevlar 纤维的开松分散是其应用的关键, 由于纤维的静电引起的内聚力易使纤维结团, 削弱纤维在复合材料中的增强作用和摩擦磨损性能, 故材料制备时, 需要对纤维进行开松处理。本文中对 Kevlar 纤维的分散采用特殊的高速旋转叶片搅拌和依次加入电性相反的纤维及填料的方法[5]。

针对摩擦材料的性能要求和传统应用的酚醛树脂(2123)存在的耐热性差、强度低、质脆、粘结力小等不足, 研究中采用的基体树脂为自行研制的酚醛树脂的三聚氰胺——腰果壳油改性物, 以期提高基体的耐热性、冲击韧性与粘结力。

1.3 摩擦材料配方优化

本研究应用正交设计理论以及混杂理论进行配方设计。选定试验指标为:

(1) 各温度下的摩擦系数; (2) 各温度下的磨损; (3) 冲击强度。据实际情况, 选择蛭石与 Kevlar 纤维的含量比、蛭石片径和树脂含量三个因素, 相应分别取三水平, 选用正交表 $L_9(3^4)$ 设计, 并结合性能试验结果的综合分析, 得到摩擦材料的较优配方。

1.4 摩擦材料的成型工艺

选用干法工艺热压成型。据试验分析研究, 优化工艺条件为: 压制温度 150～160℃, 压制比压 20MPa, 时间 60s/片, 热处理规范为 200℃保持 8h。

1.5 1-2-3 型摩擦材料及基体的性能测定与表征

1.5.1 基体的性能测定与表征

依照 GB 4507-84、HG5-1338-80、HG5-1342-80, 对研制的改性树脂(YS1)与纯酚醛树脂(2123)进行性能(软化点、聚合速度、游离酚含量)测定。热分解温度在日本产 TAS-100 型热分析仪上测定。

1.5.2 1-2-3 型摩擦材料性能测定与表征

冲击强度: 依照国标 GB5765-86《摩擦材料冲击强度测定法》, 在 XCJ-4 型冲击强度试验机上, 对研制出的摩擦材料进行冲击强度试验。

耐热性能: 在日本产 TAS-100 型热分析仪上对制得的摩擦材料与石棉摩擦材料进行差热-失重(TG-DTA)对比分析。

摩擦磨损性能: 依 GB5763-86, 在 MM-200 和 MD-240 型磨损试验机上进行摩擦磨损性能试验。

1.6 1-2-3 型摩擦材料表面结构分析

应用日本 SX-40 扫描电子显微镜进行材料表面结构与形貌分析。

2 结果与分析

2.1 基体树脂和 1-2-3 型摩擦材料的耐热性

改性树脂(YS1)与纯酚醛树脂(2123)性能结果见表 1。由表可知, 改性树脂(YS1)的耐热性与活性均有明显提高。

表 1 改性树脂性能

Table 1 The properties of the modified resin

Resin	Softening point/℃	Thermolysis temperature/℃	Polymerize velocity/s	Content of free phenol/%
YS1	110	432	42	2.92
2123	88	362	50	3.76

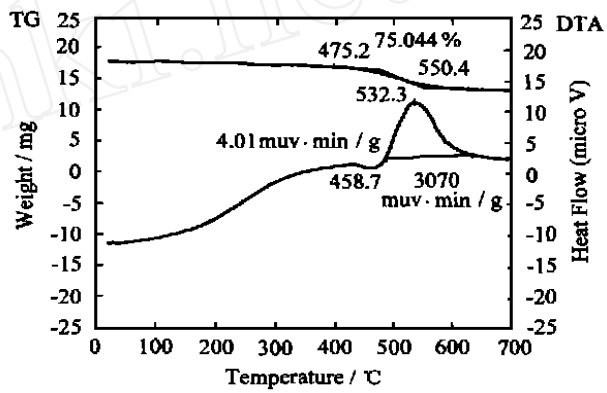

图 1 1-2-3 型摩擦材料 TG-DTA 曲线

Fig. 1 TG-DTA figure of 1-2-3 model friction material

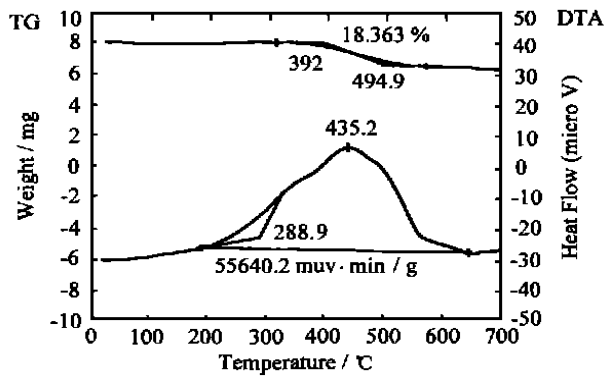

图 2 石棉摩擦材料 TG-DTA 曲线

Fig. 2 TG-DTA figure of asbestos friction material

1-2-3 型增强摩擦材料与石棉摩擦材料的 TG-DTA 分析见图 1、图 2 所示。结果表明: 片状增强摩擦材料受热影响变化的温度较石棉摩擦材料高 40℃左右, 失重 15% 的温度高约 57℃。耐热性能的提高, 为摩擦材料的结构强度保持及表面工作环境改善提供了有利的基础支持。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　摩擦材料性能试验结果　　Table 2　The testing results of friction material properties

Properties	P/N							T/℃							Impact strength /dJ·cm⁻²
	50	100	150	200	250	300	350	400	100	150	200	250	300	再 100	
Friction factors	0.36	0.49	0.47	0.47	0.48	0.49	0.44	0.41	0.37	0.43	0.46	0.41	0.35	0.41	
Wear /10⁻⁸cm³·N⁻¹·m⁻¹	4.4	1.07	2.1	1.34	0.98	0.4	0.58	1.9	2.3	2.5	3.8	3.5	5.6	1.2	4.35

2.2　1-2-3 型摩擦材料的力学性能及摩擦磨损性能

1-2-3 型摩擦材料的冲击强度及摩擦磨损性能试验结果见表 2。

试验结果表明, 研制的摩擦材料的冲击强度和摩擦磨损性能均能满足国标 GB257-86 与 GB5765-86 的要求, 特别是在摩擦系数适宜, 稳定, 高温耐磨, 以及恢复性能方面表现优越。

2.3　1-2-3 型摩擦材料的微观结构与摩擦磨损机理探讨

1-2-3 型摩擦材料的扫描电镜照片见图 3～图 5。

由图 3、图 4 可见, 1 维的 Kevlar 纤维与 2 维片状蛭石均匀分散在摩擦材料中, 且受成型力作用, 蛭石片多为平行于摩擦表面排列, Kevlar 短纤维则是无章无序的随机排列。摩擦后, 材料在温度、压力(挤压和剪切力)的作用下, 表面出现平行于摩擦方向的机械磨痕, 且在表面上有少量片状磨屑及纤维。

摩擦表面层的断面结构见图 5。由表及里影响层结构表现不同: 浅表层较密实, 但有少量裂纹, 表面膜不连续; 里层结构较疏松, 有小孔洞; 内层结构同摩擦前基本相同。

聚合物基摩擦材料在制动摩擦过程中, 体现为机械磨损、疲劳磨损和热磨损。1-2-3 型增强的摩擦材料, 以其独特的混杂结构组合和材料性能匹配, 改善了摩擦磨损机制, 有效地保持了摩擦性能的稳定, 降低了磨损。致使其性能表现优越。分析其机理, 主要有:

(1) 适宜径厚比的 2 维片状材料平行于表面的排列, 与 1 维纤维材料相比, 其热渗透系数显著降低, 由表及里, 热渗透路径更曲折, 迫使表面摩擦产生的热量大部分从对偶散失, 减少了热影响层厚度。这一方面有利于材料的结构强度保持, 另一方面也有效地减缓了摩擦材料基体的分解, 降低了热磨损。

(2) 片状蛭石与 Kevlar 纤维都为高耐热、低硬度物质, 配以耐热性优良的改性基体, 因此在同样工

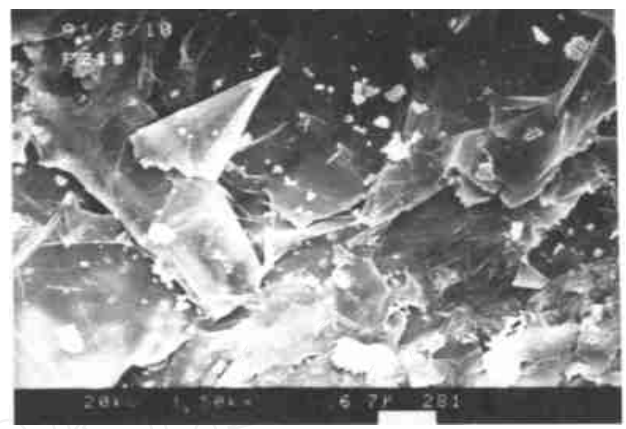

图 3　摩擦材料摩擦前表面形貌

Fig. 3　Surface shape of friction material pre-friction

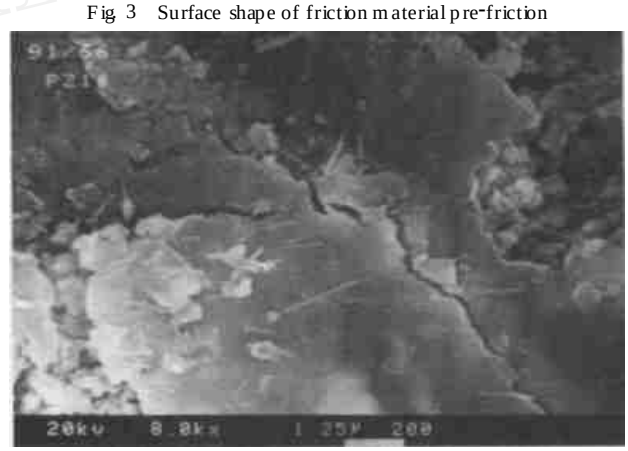

图 4　摩擦材料摩擦后表面形貌

Fig. 4　Surface shape of friction material post-friction

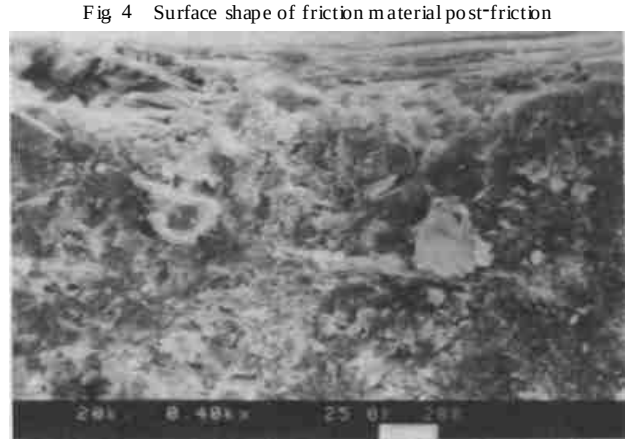

图 5　摩擦材料摩擦后断面形貌

Fig. 5　Broken shape of friction material post-friction

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

况条件下, 其摩擦材料的热磨损较小。特别是高温磨损得到了控制。同时也降低了对对偶材料的损伤。

(3) 蛭石片具有多孔隙, 可以吸附在高温条件下基体树脂分解的小分子(气体、液体和极性小分子), 从而有效地缓解摩擦表面的"润滑层"产生, 抑制热衰退, 改善高温下的摩擦磨损性能。

(4) 依热、力作用在摩擦表面形成的表面膜, 主要为片状蛭石屑与 Kevlar 纤维屑, 以及基体树脂的分解产物。这一柔性膜在摩擦界面间的运动, 改善了摩擦表面的接触状态, 保持了摩擦性能的稳定。

(5) Kevlar 纤维是增强纤维中密度较小的一种材料, 但其拉伸强度均高于玻纤和钢纤维, 因此以少量适宜的 Kevlar 纤维和蛭石混杂增强, 能有效地提高制品的结构强度。

3 结 论

采用混杂复合增强体系研制摩擦材料是无石棉摩擦材料开发的新领域, 所研制的 1-2-3 型制动材料摩擦系数适宜而稳定, 磨损小、恢复性能好、强度高、价格适宜, 进一步的推广将具有非常可喜的应用前景。

参 考 文 献

[1] 周顺隆. 国外摩阻材料的研究现状及发展[J]. 摩擦磨损, 1988, 3(2): 1~12.

[2] 贾 贤, 周本濂, 陈永潭. 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] Sergienko V P. Asbestos-free frictional materials for production and reconditioning brake units[J]. *Friction and Wear*, 1995, 16(2): 9~13.

[4] 曹献坤. 蛭石摩擦材料及其摩擦磨损性能的试验研究[硕士学位论文][D]. 武汉: 武汉工业大学, 1992. 13~16.

[5] 张 诚. Kevlar 无石棉摩擦材料的研究[硕士学位论文][D]. 武汉: 武汉工业大学, 1998. 8~12.

The Second Announcement of Thirteenth International Conference on Composite Materials (ICCM-13)

ICCM, the preeminent world conference in the field of composite materials, is a unique forum for the worldwide community to exchange ideas and information on the latest developments in composite science and technology. ICCM-13 will be dedicated to documenting the progress achieved during the beginning of the new century, as well as disseminating new perspectives and business opportunities to the international composite materials community. The Organizing Committee of ICCM-13 is pleased to invite you to contribute to the conference, which will be held in Beijing in June 2001.

Two-page abstracts, including one or two figures, on topics related to the themes of the conference are invited from 1 July to 15 September 2000. Authors are kindly requested to submit their abstracts via the conference web site. The International Technical Committee will review all abstracts. Notification of acceptance will be given by 1 December 2000, at which stage guidelines concerning the format of the papers to be published in the CD-ROM proceedings will be sent to the authors. In order to produce the proceedings in time for distribution to delegates upon registration, completed papers will be required by 1 February 2001. To ensure that the presentations are of maximum interest to the greatest possible number of participants, authors are urged to submit papers stressing the general significance of their work as well as discussing detailed aspects of the study. Please find more information about ICCM-13 at

Web Site: http://www.iccm13.org

Fax: 0086-10-82317099

Tel: 0086-10-82317099

E-mail: iccm13@buaa.edu.cn

Address: ICCM-13 Conference Office, 37 Xueyuan Road, Haidian, Beijing 100083, China.

(下转第 101 页)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net