

陶瓷纤维增强摩擦材料的性能研究

张丛见¹ 吴其胜² 张少明¹

(1. 南京工业大学材料科学与工程学院, 南京 210009; 2. 盐城工学院江苏省生态环境材料重点实验室, 盐城 224003)

摘要 采用热压成型工艺制备出陶瓷纤维增强改性酚醛树脂摩擦材料, 分析了纤维长度对摩擦材料抗热衰退性能、耐磨性能和力学性能的影响, 并借助扫描电子显微镜 (SEM) 观察了摩擦材料的断口形貌。结果表明, 陶瓷纤维长度对摩擦材料的摩擦磨损性能和力学性能影响很大; 在纤维用量不变的条件下, 长陶瓷纤维代替短陶瓷纤维后, 摩擦材料在各温度段下的摩擦系数增大, 耐高温性和热衰退现象得到了明显改善, 冲击强度和硬度得到显著提高, 在长陶瓷纤维质量分数为 10% 时, 摩擦材料的综合摩擦磨损性能最好; SEM 分析表明, 长陶瓷纤维与树脂基体之间的界面粘结强度比短陶瓷纤维高。

关键词 陶瓷纤维 纤维长度 酚醛树脂 摩擦材料

陶瓷纤维最早出现于 1941 年^[1], 被广泛应用于耐火、隔热领域。近年来, 国内外研究人员开始着手陶瓷纤维在汽车制动用摩擦材料领域的应用研究^[2-10], 但研究的主要内容是陶瓷纤维含量和种类对摩擦材料性能的影响。陶瓷纤维的长度对摩擦材料的性能有着极为重要的影响, 为此, 笔者分别选用 $\text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{MgO}$ 系短陶瓷纤维 (长度为 200 ~ 300 μm) 和长陶瓷纤维 (长度为 1 ~ 2 mm) 制备了陶瓷纤维增强腰果壳油改性酚醛树脂基摩擦材料, 对比分析了陶瓷纤维长度对摩擦材料摩擦磨损性能和力学性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原料

腰果壳油改性酚醛树脂 (以下简称改性 PF)、硅灰石、石墨、摩擦粉: 江苏威特集团有限公司;

$\text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{MgO}$ 系长陶瓷纤维: 长度为 1 ~ 2 mm, 摩根热陶瓷 (上海) 有限公司;

$\text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{MgO}$ 系短陶瓷纤维: 长度为 200 ~ 300 μm , 摩根热陶瓷 (上海) 有限公司。

1.2 主要设备、仪器

高速混合机: SHR-10A 型, 江苏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;

简支梁冲击试验机: XJJ 型, 承德试验机有限责任公司;

塑料洛氏硬度计: XHR-150 型, 上海材料试验机厂;

扫描电子显微镜 (SEM): QANTA200 型, 美国 FEI 公司。

1.3 试样制备

改性 PF 摩擦材料的配方见表 1 和表 2。其中, 保持改性 PF、硅灰石、石墨、摩擦粉的用量不变, 改变配方中 $\text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{MgO}$ 系陶瓷纤维的用量, 同时调整对摩擦磨损性能影响不大的重晶石用量, 始终维持原料总量为 100%。

将配制好的原料加入高速混合机中混合 30 min, 然后在 180℃、42 MPa 下热压成型, 保压时间为 300 s, 放气 3 次, 间隔时间为 5 s。然后开模、冷却, 取出试样并在 (190 ± 4)℃ 下热处理 10 h。

表 1 短陶瓷纤维增强改性 PF 摩擦材料配方 %

配 方	a_1	a_2	a_3	a_4
改性 PF	20	20	20	20
短陶瓷纤维	5	10	15	20
硅灰石	15	15	15	15
石墨	5	5	5	5
重晶石	40	35	30	25
摩擦粉	15	15	15	15

表 2 长陶瓷纤维增强改性 PF 摩擦材料配方 %

配 方	A_1	A_2	A_3	A_4
改性 PF	20	20	20	20
长陶瓷纤维	5	10	15	20
硅灰石	15	15	15	15
石墨	5	5	5	5
重晶石	40	35	30	25
摩擦粉	15	15	15	15

1.4 性能测试

摩擦磨损性能按 GB 5763-1998 测试;

冲击性能按 GB/T 1043-1993 测试;

硬度按 GB/T 7409 – 1994 测试;

SEM 分析: 将试样冲击断面镀金, 然后用 SEM 观察断面形貌并拍照。

2 结果与讨论

2.1 陶瓷纤维长度对摩擦材料摩擦磨损性能的影响

表 3 和表 4 列出温度及短陶瓷纤维用量对改性 PF 摩擦材料摩擦系数和磨损率的影响。由表 3 可以看出, 随短陶瓷纤维用量的增加, 摩擦材料的摩擦系数在较低温度下总体上逐渐变大; 但当温度超过 200℃后, 短陶瓷纤维用量的增加对摩擦材料的热衰退现象无明显改善, 并加大了高温下摩擦系数的波动性, 降低了摩擦材料的耐高温性能。

由表 4 可以看出, 各配方体系的磨损率在整体趋势上都随着温度的升高而增大, 摩擦材料的耐磨性能下降; 但短陶瓷纤维用量的增加总体上降低了摩擦材料在较低温度下的磨损率, 当温度超过 200℃后, 短陶瓷纤维用量的增加使摩擦材料的磨损率变化毫无规律。

表 3 温度及短陶瓷纤维用量对摩擦材料摩擦系数的影响

配方	温度 /℃				
	100	150	200	250	300
a ₁	0.31	0.31	0.28	0.12	0.08
a ₂	0.38	0.38	0.31	0.15	0.08
a ₃	0.38	0.31	0.26	0.08	0.06
a ₄	0.36	0.41	0.37	0.13	0.06

表 4 温度及短陶瓷纤维用量对摩擦材料磨损率的影响
10⁻⁷ cm³ / (N · m)

配方	温度 /℃				
	100	150	200	250	300
a ₁	0.24	0.24	0.27	0.36	0.24
a ₂	0.17	0.20	0.21	0.23	0.31
a ₃	0.20	0.19	0.25	0.22	0.34
a ₄	0.20	0.15	0.31	0.22	0.29

表 5 和表 6 列出温度及长陶瓷纤维用量对改性 PF 摩擦材料摩擦系数和磨损率的影响。由表 5 可以看出, 随长陶瓷纤维用量的增加, 摩擦材料在较低温度下的摩擦系数也在逐渐变大, 但高温下各配方体系摩擦系数的波动性不尽相同。随温度的升高, A₂ 体系的摩擦系数波动最小, 说明其高温摩擦稳定性最好, A₃ 次之, A₄ 体系的摩擦系数的衰退现象最严重, 高温摩擦稳定性最差。

由表 6 可以看出, 各配方体系的磨损率也都随温度的升高而增大, 其中 A₃ 体系最小, 而 A₂ 体系最大, 但各配方体系均满足 GB 5763 – 1998 的要求。

在摩擦系数和磨损率都达到国家标准的前提下, 摩擦材料的摩擦系数高温稳定性更加重要。另外, 摩擦材料的摩擦系数不能过大, 否则由其制造的刹车片在汽车刹车时容易造成刹车抱死。因此, A₂ 体系的综合摩擦磨损性能最好。

将表 5、表 6 与表 3、表 4 对比可以发现, 在陶瓷纤维用量不变的条件下, 长陶瓷纤维代替短陶瓷纤维后, 摩擦材料在各温度段下的摩擦系数均有所增大, 其在高温下的热衰退现象得到了明显的改善, 除 A₂ 体系外其余体系的磨损率总体上有所降低。其原因可能是: (1) 陶瓷纤维端部是裂纹增长的引发点, 在同样的用量下, 纤维越长, 其端部数量越少, 高温下裂纹增长的引发点就越少, 从而使摩擦材料的耐高温性能提高; (2) 纤维变长, 使得纤维与树脂之间的界面粘结强度得到提高, 载荷向纤维传递的速度加快, 摩擦材料承受载荷的能力增强, 抗疲劳性能得到提高, 从而有助于减小摩擦材料的磨损率。

表 5 温度及长陶瓷纤维用量对摩擦材料摩擦系数的影响

配方	温度 /℃				
	100	150	200	250	300
A ₁	0.37	0.41	0.36	0.34	0.24
A ₂	0.38	0.41	0.42	0.42	0.36
A ₃	0.44	0.48	0.46	0.41	0.34
A ₄	0.48	0.52	0.46	0.37	0.19

表 6 温度及长陶瓷纤维用量对摩擦材料磨损率的影响
10⁻⁷ cm³ / (N · m)

配方	温度 /℃				
	100	150	200	250	300
A ₁	0.11	0.13	0.17	0.16	0.39
A ₂	0.23	0.20	0.28	0.35	0.44
A ₃	0.12	0.11	0.11	0.15	0.24
A ₄	0.12	0.16	0.18	0.26	0.38

2.2 陶瓷纤维长度对摩擦材料力学性能的影响

表 7 和表 8 分别列出短、长陶瓷纤维用量对改性 PF 摩擦材料的冲击强度及硬度的影响。通过表 8 与表 7 的对比可以看出, 在陶瓷纤维用量相同的情况下, 长陶瓷纤维代替短陶瓷纤维后, 摩擦材料的冲击强度和硬度都得到明显提高。摩擦材料冲击强度的提高主要归因于陶瓷纤维拔出长度的增加。长陶瓷纤维代替短陶瓷纤维后, 纤维长度增加, 受到冲击时其拔出长度也会增加, 纤维拔出需要消耗更多的能量, 从而提高了摩擦材料的冲击强度。另外, 纤维长度增加使纤维与树脂的界面粘结强度得到提高, 使摩擦材料承受载荷的能力增强, 从而提高了摩擦材料的硬度。

表 7 短陶瓷纤维用量对摩擦材料的冲击强度及硬度的影响

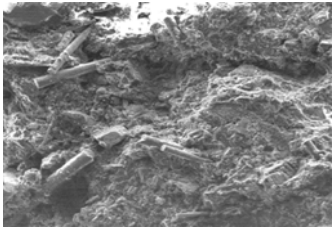
项 目	配 方			
	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄
冲击强度/kJ·m ⁻²	0.557	0.537	0.622	0.600
洛氏硬度(HRL)	61.6	66.8	71.7	52.2

表 8 长陶瓷纤维用量对摩擦材料冲击强度及硬度的影响

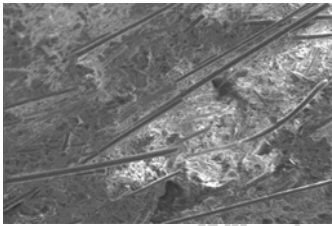
项 目	配 方			
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
冲击强度/kJ·m ⁻²	0.855	0.949	0.881	0.823
洛氏硬度(HRL)	87.6	91.2	77.5	82.1

2.3 SEM 分析

图 1 为 A₂ 体系和 a₂ 体系的 SEM 照片。



(a)



(b)

a—A₂ 体系; b—a₂ 体系

图 1 陶瓷纤维增强改性 PF 摩擦材料的 SEM 照片

对比图 1a 和图 1b 可以看出,短陶瓷纤维增强的摩擦材料试样断裂后暴露在外的陶瓷纤维较长,而长陶瓷纤维增强的摩擦材料试样断裂后暴露在外的纤维较短,这说明长陶瓷纤维与改性 PF 之间的界面粘结强度较高,因此,在断裂过程中其被拔出时所受到的阻力大,纤维拔出需要消耗更多的能量,故试样断裂后暴露在外的纤维较短(图 1a);而短陶瓷纤维与改性 PF 的界面粘结强度较低,很容易被全部拔出,故试样断裂后暴露在外的纤维较长(图 1b)。

3 结论

(1) 陶瓷纤维的长度对改性 PF 摩擦材料的摩擦磨损性能影响很大。在纤维用量不变的条件下,长陶瓷纤维代替短陶瓷纤维后,摩擦材料在各温度段下的摩擦系数增大,热衰退现象得到明显改善,耐高温性能得到明显提高。其中,在长陶瓷纤维质量分数为 10% 时,摩擦材料的综合摩擦磨损性能最好。

(2) 陶瓷纤维的长度对摩擦材料的力学性能影响较大。与短陶瓷纤维相比,长陶瓷纤维能显著提高摩擦材料的冲击强度和硬度。

(3) SEM 分析表明,长陶瓷纤维与树脂基体之间的界面粘结强度要高于短陶瓷纤维。

参考文献

[1] 崔之开. 陶瓷纤维[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.

[2] Kim S J, Cho M H, Lim D S, et al. Synergistic effects of aramid pulp and potassium titanate whiskers in the automotive friction material[J]. Wear, 2001, 251(1-12): 1484-1491.

[3] Hee K W, Filip P. Performance of ceramic enhanced phenolic matrix brake lining materials for automotive brake linings[J]. Wear, 2005, 259(7-12): 1088-1096.

[4] Mohanty S, Chugh Y P. Development of fly ash-based automotive brake lining[J]. Tribology International, 2007, 40(7): 1217-1224.

[5] Kim S J, Cho M H, Cho K H, et al. Complementary effects of solid lubricants in the automotive brake lining[J]. Tribology International, 2007, 40(1): 15-20.

[6] Cho M H, Ju J, Kim S J, et al. Tribological properties of solid lubricants(graphite, Sb₂S₃, MoS₂) for automotive brake friction materials[J]. Wear, 2006, 260(7-8): 855-860.

[7] Han Ling, Huang Li, Zhang Jinsheng, et al. Optimization of ceramic friction materials[J]. Composites Science and Technology, 2006, 66: 2895-2906.

[8] 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, 28(1): 63-65.

[9] 林伟. 多纤维混杂增强复合摩擦材料的研制[D]. 福州: 福州大学, 2003.

[10] 车剑飞, 宋晔, 陆怡平, 等. 无石棉摩擦材料磨损性能研究[J]. 非金属矿, 1999, 22(5): 40-41.

RESEARCH ON THE PROPERTY OF CERAMIC FIBER REINFORCED FRICTION MATERIALS

Zhang Congjian¹, Wu Qisheng², Zhang Shaoming¹

(1. School of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China;

2. Key Laboratory of Ecological-Environment Materials, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224003, China)

ABSTRACT Ceramic fiber reinforced phenolic resin friction materials were prepared by hot press molding. Effects of ceramic fiber length on heat fading resistance, wear rate and mechanical properties of friction materials were studied. Morphology of rupture surface of friction materials was observed by scanning electron microscopy(SEM) . The results showed that the length of ceramic fiber had

a pronounced effect on frictional and mechanical property of friction materials. Under the conditions of fixable content of ceramic fiber, reinforced with long ceramic fiber instead of short ceramic fiber, corresponding friction coefficient of friction materials within several temperature was augmented, high temperature resistance and heat fading resistance were improved obviously, impact strength and stiffness were improved remarkably. When the weight content of long ceramic fiber was 10%, the friction material had the best comprehensive friction and wear properties. The SEM analysis showed that interface bonding strength of long ceramic fiber combined with phenolic resin was better than short ceramic fiber.

KEYWORDS ceramic fiber, fiber length, phenolic resin, friction material

杜邦开发出发动机轻质零部件材料

在 40 多年的创新经验和市场领导的基础上,杜邦 Vespel 业务扩大了其产品组合,推出了新型 Vespel SCP 部件系列,具有更好的部件使用寿命,减轻了质量,降低喷气发动机和飞机系统的成本。主要应用领域包括服装、密封件和绝缘部件,用于压缩机、增压器、驱动系统、辅助动力装置、反推力装置、水泵、阀门和自锁紧固件。

全球航空航天部门的负责人 Mark Forka 指出:“杜邦 Vespel SCP 系列零件标志着金属零件抗高温能力的逐步推进的变化,并且可以提供大量优于金属的成本和性能优势。这些产品的推出是对航空航天工业需要提高燃料效率和延长维修周期的一个直接回应。”

SCP 系列包含三个部分。Vespel SCP-5000 部件是未填充型。Vespel SCP-5050 和 SCP-50094 部件采用新型灌装技术,具有较低的摩擦性和增强的耐磨性。

所有产品都具有优异的耐高温能力。在热氧化稳定性试验中其质量仅减少传统的聚酰亚胺材料的一小部分此外,Vespel SCP 部件在常温和高温下比传统类型都更坚固。

Vespel SCP 系列还具有优异的尺寸稳定性,这是在温度和湿度变化下保持吻合和功能的一个关键性质。Vespel SCP-5050 部件的热膨胀系数(CTE)是与不锈钢材料相当,SCP-50094 的热膨胀系数低于可比的聚酰亚胺。(中聚网)

国产尼龙 66 工程塑料为高速铁路护航

随着国家扩大内需措施相继出台,铁路客运专线等一批重点基础项目建设将陆续上马。记者于 2008 年 12 月 16 日了解到正在建设的温州至福州高速铁路系统中,70% 的专用尼龙 66 塑料扣件都采用了平煤神马能源化工集团旗下的华威塑胶工程公司的产品。这是国产尼龙 66 工程塑料首次为国家高速铁路重点基础项目保驾护航。

国家在大力发展高速铁路客运专线的同时,提出了系统专用材料采购要实现国产化的目标。据该公司总经理郭选政介绍,高速铁路客运专线每公里需用铁路扣件专用材料 2.2 ~ 3 t。而高速铁路客运专线尼龙切片生产技术一直被英国、德国等国的跨国公司垄断,国内产品还是空白。为此,该公司抓住这一难得机遇,积极与中国铁路科学研究院密切合作,加大技术创新力度,研发适合高速铁路需要的尼龙改性切片。

据了解,神马华威塑胶工程公司在精选添加剂品种时,仅单个配方就实验了一百多次,双螺杆设备的组合调整了三

十余次,生产工艺调整更是不计其数。经过长时间的攻关,该公司于 2007 年 12 月成功研制出尼龙 66 高速铁路系统工程塑料扣件专用材料。经中国铁路科学研究院鉴定,该产品具备高强度、耐冲击、高刚性等特性,完全符合技术要求,部分性能指标超越了国外跨国公司同类产品。因性能出色,该产品被中国铁路科学研究院指定为专用产品,国内高速铁路客运专线中第一次出现了国产尼龙 66 的身影。2008 年 3 月,该公司的尼龙 66 高速铁路系统工程塑料扣件专用材料实现了规模化生产。据了解,在 4 万亿拉动内需的投资计划中,铁路被列为重中之重。随着多个铁路快速客运通道以及城际快速客运系统的开工建设,尼龙 66 高速铁路系统工程塑料扣件专用材料市场需求将会大幅度增加。

神马华威塑胶工程公司是平煤神马能源化工集团下属的一个子公司,2007 年 6 月组建,其生产的尼龙及其他塑胶改性切片产品广泛应用于电气、军工、铁路、汽车、纺织等领域,产品畅销全国各地。(慧聪网)

ARPRO 为汽车全景天窗开发 EPP 衬垫材料

通过采用 JSP 提供的一个新型汽车包装解决方案,一家主要的汽车零部件制造商获得了能源效益。JSP 是领先的 ARPRO 发泡聚丙烯(EPP)供应商。可开式车顶制造商一直设法减少破损量,改善其占总生产 20% 的成功交付纪录,现在使用 ARPRO 以保护其全景玻璃。比起以前使用的 350 kg 钢架,成本和质量的减少是显而易见的,因为 ARPRO 框架重 9.5 kg,成本下降幅度高达 80%。

JSP 的执行副总裁兼首席运营官(欧洲) Paul Compton 解释道:“衬垫对于安全保护以及供应商和原始设备制造商(OEM)之间的部件运输是至关重要的。供应商意识到其广受欢迎的全景式天窗系统在运输中较高的破坏率和拒绝率,因此采用 JSP 方案来解决这一问题。”

天窗垫料的解决方案包括 ARPRO 的上部和下部件,包住和缓冲玻璃“A”、“B”表面,连接与支持每一个角落的钢筋。相较于之前的钢铁解决方案,ARPRO 不仅在生产环境中,而且在运输中提供增强的减振性能,因为运输中经常有多个扭转载荷和振动可能危及脆弱的组成部分。JSP 采用 ARPRO 发泡聚丙烯降低质量,在运输时受到动态压力之后也可以恢复到原来的形状。ARPRO 衬垫可根据具体汽车零部件定制。这些可回收包装可在运输中保护部件,使包装和运输更方便,拆包和组装更有效率。当 JSP 设计新的定制解决方案时,它必须适应现有生产布局。(中塑网)