

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.09.025

亚麻纤维对酚醛树脂基摩擦材料的影响

陈晓东, 林荣会

(青岛理工大学机械与汽车工程学院, 山东青岛 266000)

摘要: 通过对亚麻纤维进行改性处理,以酚醛树脂为基体,石墨、硫酸钡等为填料制备了不同含量亚麻纤维增强树脂基摩擦材料。利用电动洛氏硬度机、定速摩擦磨损试验机、场发射扫描电镜等设备,研究了亚麻纤维对摩擦材料的物理性能、力学性能和摩擦磨损性能的影响,观察了磨损后的表面形貌。研究表明:亚麻纤维能增加摩擦材料的冲击强度、稳定摩擦系数、降低高温时的磨损率,对密度和硬度的影响较小,过多的亚麻纤维会降低与树脂的粘结强度,在高温时会加剧摩擦材料的热衰退现象。综合比较,亚麻纤维含量为6%时为最佳用量。

关键词: 摩擦材料; 亚麻纤维; 力学性能; 摩擦磨损性能; 表面形貌

中图分类号: TQ323.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)09-0130-05

Effect of Flax Fiber Content on Phenolic Resin-Based Friction Materials

Chen Xiaodong, Lin Ronghui

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266000, China)

Abstract : The resin-based friction materials reinforced by modified flax fiber with different contents were prepared with phenolic resin as matrix and graphite and barium sulfate as fillers. Flax fiber was modified and resin-based friction materials reinforced with different content of flax fiber were prepared. The effects of flax fiber on the physical properties, mechanical properties and friction and wear properties of friction materials were studied by means of Rockwell hardness tester, scanning electron microscope and fixed-speed friction tester, and the surface morphology was observed. The results show that flax fiber can increase the impact strength of the friction material, stabilize the friction coefficient, reduce the wear rate at high temperature, and have little effect on the density and hardness. Excessive flax fiber will reduce the bond strength with the resin, at high temperature will aggravate the thermal decline of the friction material. By comprehensive comparison, flax fiber content of 6% is the best dosage.

Keywords : friction material ; flax fiber ; mechanical property ; friction and wear property ; surface topography

随着环保要求的日益提高,人们对摩擦材料组分的选择也受到了极大的限制。许多常用的纤维,如石棉纤维具有致癌性、铜纤维会对环境造成铜污染等^[1-2],都被要求控制用量或禁止使用。因此,在摩擦材料中使用绿色环保的增强纤维也成为了研究人员研究的热点,包括剑麻纤维^[3-4]、苧麻纤维^[5]、车前草碳质纤维^[6]、椰壳纤维^[7]、竹纤维^[8]、黄麻纤维等^[9]。亚麻纤维是一种力学性能优良的天然植物纤维,具有生物可降解性、耐摩擦、高强度高模量等特点^[10]。近年来,国内外研究人员对亚麻作为增强纤维做了大量研究工作。熊小双^[11]的研究表明,亚麻短纤维对聚甲醛的拉伸性能、弯曲性能及冲击韧

性都有一定的提升,且能改善材料的耐磨性。李玉增等^[12]的研究表明,亚麻纤维使立构聚乳酸复合材料的拉伸强度提高了8.9%,拉伸弹性模量提高了117%。Fu Zhezhen等^[13]研究表明亚麻纤维有利于稳定摩擦材料摩擦系数,提高其耐磨性。综上所述,亚麻纤维可以提高复合材料的力学性能,同时对摩擦性能也会起到有利的影响。

摩擦材料是一种由高分子粘结剂、增强纤维、无机填料组成的复合材料。笔者利用碱溶液对亚麻纤维进行改性处理,通过改变配方中亚麻纤维的含量制备了不同含量亚麻纤维增强摩擦材料。研究了改性亚麻纤维含量对摩擦材料力学、摩擦性能的影响。

通信作者: 林荣会,教授,博士,主要从事制动摩擦材料研究

收稿日期: 2021-07-05

引用格式: 陈晓东,林荣会. 亚麻纤维对酚醛树脂基摩擦材料的影响[J]. 工程塑料应用, 2021, 49(9):130-134.

Chen Xiaodong, Lin Ronghui. Effect of flax fiber content on phenolic resin-based friction materials[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(9):130-134.

响,并探讨了亚麻纤维对摩擦机制的影响,为亚麻纤维在摩擦材料中的应用提供理论依据。

1 实验部分

1.1 主要原材料

酚醛树脂:PF6816,山东圣泉新材料股份有限公司;

矿物纤维:RB250,荷兰 Lapinus 纤维公司;

亚麻纤维:LINE 100,海盐金溢绢纺有限责任公司;

填料选用铬铁矿:44 μm (325 目),大冶旺平摩擦材料厂;

鳞片石墨:188 μm (80 目),青岛广星电子材料有限公司;

蛭石:425 μm (40 目),石家庄金利矿业有限公司;

硫酸钡: $\geq 98\%$,贵州红星发展股份有限公司。

1.2 主要设备及仪器

犁耙式混料机:JF820SJ 型,吉林大学机电设备研究所;

四柱自动液压成型机:FC-400TON 型,宁波珑昌机械工业有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:DGL-16 型,宁波市江北电热烘箱厂;

电动塑料洛氏硬度计:200HRD-150 型,莱州华银试验仪器有限公司;

简支梁冲击强度试验机:XJJ-5 型,承德世鹏检测设备有限公司;

定速摩擦试验机:XD-MSM 型,咸阳新益摩擦密封设备有限公司;

离子溅射仪:E-1020 型,Hitachi 公司;

场发射电子显微镜:Sigma300 型,德国卡尔·蔡司股份公司。

1.3 纤维表面改性

将亚麻纤维表面杂质清洗后切成 3~6 mm 的短纤维,以 1:40 的质量比置于浓度为 5% 的 NaOH 溶液中浸泡 2 h,用蒸馏水对纤维进行冲洗,去除表面残留的碱溶液。将纤维在室温下自然干燥后于 80℃ 烘干箱中烘干至恒重。

1.4 酚醛摩擦材料制备工艺

制备试样工艺流程如下:配料→混料→热压成型→热处理→机械加工→试验试样。

主要制备设备及工艺参数:

(1) 混料:采用犁耙式混料机,混料时间

15 min。(2) 热压成型:采用四柱自动液压成型机,温度为 160℃,压力为 20 MPa,放气 3 次。(3) 热处理:采用电热恒温鼓风干燥箱,温度 140℃,时间 30 min;温度 160℃,时间:1 h;温度 180℃,时间 2 h。根据试验要求制备 25 mm×25 mm×6 mm 和 55 mm×15 mm×6 mm 的试验样块。

1.5 性能测试

密度试验:采用电子天平和阿基米德排水法测试;

硬度试验:按照 GB/T5766-2007 标准,采用电动塑料洛氏硬度计测试;

冲击强度试验:按照 GB/T 33835-2017 标准,采用简支梁冲击强度试验机测试;

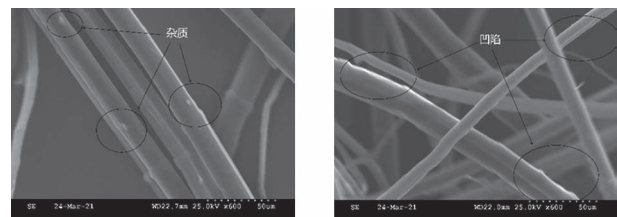
摩擦性能试验:按照 GB/T 5763-2008 标准,采用定速摩擦试验机测试;

表面形貌观察:采用离子溅射仪和场发射电子显微镜,实验加速电压为 15 kV。

2 结果与讨论

2.1 亚麻纤维表面改性微观形貌分析

图 1 为亚麻纤维改性前后表面形貌变化。由图 1a 可以看出,未处理的亚麻纤维的纤维平直光滑,且纤维表面有大量可见的杂质。由图 1b 可以看出,改性后的亚麻纤维表面杂质较少,纤维出现了明显的凹陷,表面受到了一定的侵蚀,纤维的表面粗糙度提高,这有利于加强与基体树脂的结合。



(a)

(b)

a—未处理;b—碱处理

图 1 亚麻纤维碱处理前、后微观形貌

2.2 亚麻纤维含量对摩擦材料物理、力学性能影响

改变配方中亚麻纤维的含量,制取了不同含量亚麻纤维的试样(分别记为 C1, C2, C3, C4)。配方见表 1。

表 1 实验配方

原材料	C1	C2	C3	C4
亚麻纤维	0	3	6	9
酚醛树脂	10	10	10	10
矿物纤维	15	15	15	15
硫酸钡	40	37	34	31
其他	35	35	35	35

4种试样的密度与硬度实验结果见表2,其中硬度为测量的7个点去掉最大值和最小值后的平均值。由表2可以看出,随着亚麻纤维含量的增加,摩擦材料的密度略有降低,并没有显著变化。这是因为亚麻纤维自身的密度比较小,只有 $1.4 \sim 1.5 \text{ g/cm}^3$,且随着亚麻纤维含量的增加,相应的减少了密度较高的硫酸钡的含量,因此试样的密度呈下降趋势。试样C1与试样C2的硬度相近没有太大变化,试样C3与试样C4的硬度略有增加,可以看出亚麻纤维对摩擦材料的硬度没有太大影响。

表2 试样的密度与硬度

试样	密度 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	硬度
C1	1.99	61.6
C2	1.91	61.2
C3	1.88	63.0
C4	1.87	63.5

图2是试样的冲击强度试验结果,数值为三组样品的平均值。由图2可见,添加亚麻纤维可以提高摩擦材料的冲击强度,且含量越高,冲击强度越大。试样C4的冲击强度达到了最大值,相较于试样C1提升了113%。这是因为亚麻纤维经过碱处理后加强了与基体的界面粘结性,材料在受到冲击载荷时,纤维的拔出和断裂增加了材料的冲击韧性。

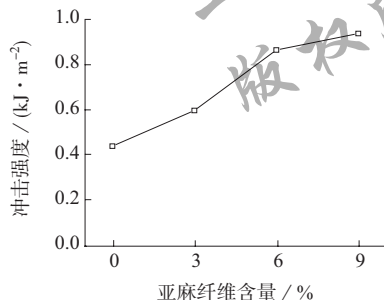
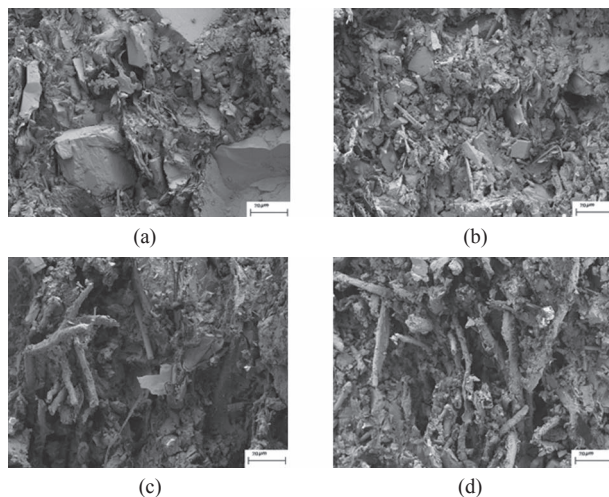


图2 亚麻纤维含量对酚醛摩擦材料冲击强度影响

图3为试样断裂后的断面微观形貌图。从图3a可以看出,因为未加亚麻纤维,试样中的纤维含量较少,部分地方只有很少的纤维存在,材料强度也受到了明显影响。从图3b可以看出,随着亚麻纤维的添加,纤维的分布较为均匀,纤维与树脂基体的接触面积增大,因此材料的冲击强度高于不含亚麻纤维的摩擦材料。从图3c可以看到少量裸露在外的纤维,受到载荷时纤维的断裂与拔出提高了材料的力学性能,与冲击强度实验中冲击强度较高的结果相吻合。从图3d可以看出,亚麻纤维含量的过多使断面可以看到大量裸露在外的纤维,这是由于受到外力时部分纤维与树脂的结合较差,纤维与树脂基体分离导致,因此在添加时应控制亚麻纤维的用量。

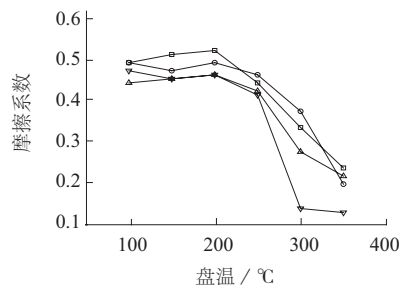


a—C1 ; b—C2 ; c—C3 ; d—C4

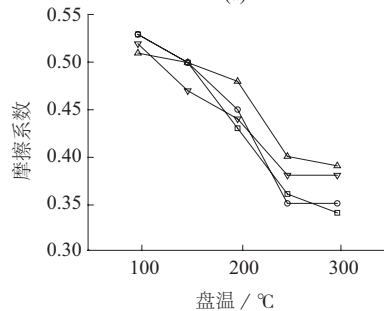
图3 亚麻纤维填充酚醛摩擦材料断面微观形貌

2.3 亚麻纤维含量对摩擦磨损性能的影响

图4、图5是试样摩擦磨损性能实验结果。由图4可以看出,摩擦材料的摩擦系数随温度升高整体趋势是降低的,这是因为树脂在高温时受热分解,对其它组分的粘结作用降低,产生的热衰退现象。且随着亚麻纤维含量增加,摩擦系数也相应减小,尤其是当温度为 300°C 时,C4试样的摩擦系数下降幅度较大。这主要是由于当温度升高时,亚麻纤维与树脂的粘结程度降低,而亚麻纤维在 250°C 便开始受热分解、碳化,而碳化后的纤维具有润滑作用,从而使摩擦系数减小。



(a)



(b)

a—升温摩擦系数; b—降温摩擦系数

图4 亚麻纤维填充酚醛摩擦材料摩擦系数曲线

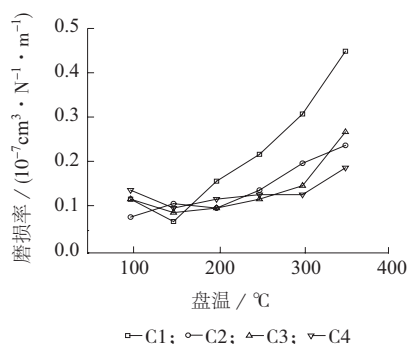
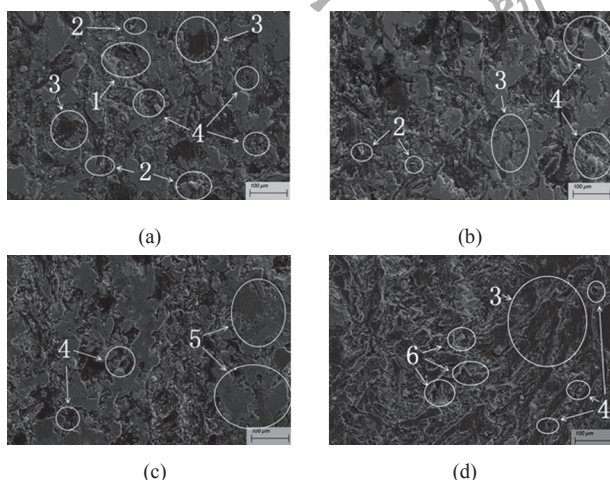


图5 亚麻纤维填充酚醛摩擦材料磨损率曲线

由图5可见,100~150℃加入亚麻纤维的摩擦材料的磨损率与不加亚麻纤维的摩擦材料相近,亚麻纤维对摩擦材料的磨损不会起到很大的作用。当温度达到200℃之后,加入亚麻纤维的摩擦材料磨损率显著降低,这主要是由于亚麻纤维吸附的水分都已蒸发,且纤维素结构中的一些葡萄糖单元基也开始逐渐脱水^[14],亚麻纤维开始分解碳化,碳化后的亚麻纤维会起到润滑的作用,从而降低磨损。而300~350℃时,是亚麻纤维分解速率明显加快的阶段,亚麻纤维的热分解速度相较于低温时更快,更多的亚麻纤维会碳化,从而提高了耐磨性。

2.4 试样磨损表面形貌分析

图6是经过摩擦实验后磨损试样表面SEM图。



a—0%; b—3%; c—6%; d—9%

1—剥落坑; 2—磨屑; 3—犁沟; 4—孔洞; 5—摩擦膜; 6—裸露纤维

图6 不同亚麻纤维含量时酚醛材料磨损表面SEM图

由图6a中可以看出,试样C1的表面有明显的剥落坑,同时表面还有明显的犁沟和大量的磨屑,说明其耐磨性较差,与图5中磨损率较高的结果相吻合。试样1的磨损机制主要为磨粒磨损和黏着磨损。由图6b可以观察到,与试样C1相比,摩擦面上只有少量细碎的磨屑,轻微的犁沟痕迹,在局部有较小

剥落坑,磨损面较为平整。试样C2的磨损机制与C1一样为磨粒磨损和黏着磨损,但磨损程度有很大程度降低。由图6c可见,摩擦表面犁沟痕迹较浅,且在摩擦表面形成了大块较为完整的摩擦层,摩擦层的存在有利于稳定摩擦系数、降低磨损率^[15-16],与图4、图5的结果相吻合。试样C3的磨损机制主要为磨粒磨损。从图6d可以看出,由于纤维含量的增加,纤维与基体的界面结合强度降低,在表面可以看到较多裸露的纤维,除此之外还有许多因为纤维拔出后导致的孔洞,从图6d中可以看出,一些磨屑和硬质颗粒被孔洞所容纳,有利于减少摩擦面的磨粒数量,降低了摩擦面的磨粒磨损,摩擦材料的耐磨性得到了改善。此外,试样表面还有较为明显的犁沟痕迹,因此试样C4的磨损机制主要为热磨损和磨粒磨损。

3 结论

(1) 亚麻纤维经碱溶液处理,使纤维表面杂质减少,表面粗糙度增加,这有利于与基体树脂的粘结。

(2) 随亚麻纤维含量的增加摩擦材料的冲击强度提高,在含量9%时,可提高113%。

(3) 在升温过程中,亚麻纤维会降低摩擦材料的摩擦系数,且随着含量的增加效果更明显,过多的亚麻纤维会加剧摩擦材料的热衰退现象,因此在添加时要控制用量。同时,亚麻纤维使摩擦材料的高温耐磨性提高。

(4) 含6%的亚麻纤维摩擦材料热衰退率和恢复率较好,其在摩擦过程中形成了稳定的摩擦膜,具有良好的耐磨性,为本试验最佳用量。

参考文献

- [1] Chan D, Stachowiak G W. Review of automotive brake friction materials: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineering Part D[J]. Journal of Automotive Engineering 2004, 218:953-966.
- [2] Tavangar R, Moghadam H A, Khavandi A R, et al. Comparison of dry sliding behavior and wear mechanism of low metallic and copper-free brake pads[J]. Tribology International, 2020. DOI: 10.1016/j.triboint.2020.106416.
- [3] 杨亚洲,刘姗姗,徐杰,等. 剑麻纤维含量对其增强摩擦材料摩擦磨损性能研究[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(1):155-158. Yang Yazhou, Liu Shanshan, Xu Jie, et al. Study on friction and wear properties of friction materials reinforced with sisal fiber[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2017, 38(1):155-158.
- [4] Xu Xin, Cheng Guangxu, Liu Leiqing. Friction properties of sisal fibre reinforced resin brake composites [J]. Wear, 2007, 262(5-

- 6):736-41.
- [5] 索宝霆,员荣平,吕亚非. 苕麻纤维增强环境友好型制动摩擦材料的研究[J]. 润滑与密封,2010,35(2):15-18.
- Suo Baoting, Yuan Rongping, Lyu Yafei. Ramie fibers reinforced eco-friendly brake friction composites[J]. Lubrication Engineering, 2010,35(2):15-18.
- [6] Betancourt S, Cruz J, Toro A. Friction and wear in sliding contact of cast iron against phenolic resin composites reinforced with carbonaceous fibres from plantain fibre bundles[J]. Lubrication Science,2013,25(2):163-172.
- [7] Maleque M A, Atiqah A. Development and characterization of coir fibre reinforced composite brake friction materials[J]. Arabian Journal for Science and Engineering,2013,38(11):3 191-3 199.
- [8] 何福善,高诚辉,林有希,等. 竹纤维增强制动摩擦材料摩擦学性能研究[J]. 摩擦学学报,2014,34(2):127-132.
- He Fushan, Gao Chenghui, Lin Youxi, et al. Tribological performance of bamboo fiber reinforced resin-matrix brake composites[J]. Tribology,2010,35(2):15-18.
- [9] 付哲臻,员荣平,齐士成,等. 黄麻纤维增强环境友好型摩擦材料的摩擦性能及其可拓评价[J]. 北京化工大学学报:自然科学版,2012,39(3):55-59.
- Fu Zhezhen, Yuan Rongping, Qi Shicheng, et al. Friction performance and extension evaluation of jute fiber-reinforced eco-friendly friction materials[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology:Natural Science Edition,2012,39(3):55-59.
- [10] 姜弼天,王琪,张炎,等. 亚麻纤维在增强复合材料中的应用与研究进展[J]. 中国农学通报,2019,35(23):35-39.
- Jiang Bitian, Wang Qi, Zhang Yan, et al. Flax fiber in reinforced composites:application and research progress[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2019,35(23):35-39.
- [11] 熊小双. 亚麻纤维增强聚甲醛复合材料力学性能及摩擦磨损特性研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2019.
- Xiong Xiaoshuang. Research on mechanical properties and friction and wear performance of flax fiber reinforced POM composites[D]. Wuhan:Wuhan University of Technology,2019.
- [12] 李玉增,杨革生,明瑞豪,等. 亚麻纤维增强立构聚乳酸复合材料的制备及界面改性[J]. 高分子材料科学与工程,2016,32(8):109-114.
- Li Yuzeng, Yang Gesheng, Ming Ruihao, et al. Preparation and interfacial modification of flax fiber reinforced polylactids stereocomplex composite[J]. Polymer Materials Science and Engineering,2016,32(8):109-114.
- [13] Fu Zhezhen, Suo Baoting, Yun Rongping, et al. Development of eco-friendly brake friction composites containing flax fibers[J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites,2012,31(10):681-689.
- [14] 厉国清,张晓黎,陈静波,等. 亚麻纤维增强聚乳酸可降解复合材料的制备与性能[J]. 高分子材料科学与工程,2012,28(1):143-146.
- Li Guoqing, Zhang Xiaoli, Chen Jingbo, et al. Fabrication and properties of flax-reinforced pla degradable composites[J]. Polymer Materials Science and Engineering,2012,28(1):143-146.
- [15] 凡艳丽,吕亚非. 汽车制动过程中摩擦层的作用和形成机制[J]. 润滑与密封,2007(6):125-128.
- Fan Yanli, Lyu Yafei. Role and formation mechanism of friction layer during braking[J]. Lubrication Engineering,2007(6):125-128.
- [16] 叶长松,付雪松,黄鹏,等. 芳纶浆粕对酚醛树脂基摩擦材料性能影响[J]. 工程塑料应用,2020,48(3):130-133,138.
- Ye Changsong, Fu Xuesong, Huang Peng, et al. Effect of aramid pulp on properties of phenolic resin-based friction materials[J]. Engineering Plastics Application,2020,48(3):130-133,138.