DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.071

结构仿生化黄麻纤维摩擦材料性能研究*

柴兴旺　闫志峰　林福东　孙俊杰　陈东辉　马云海
(吉林大学工程仿生教育部重点实验室, 长春 130025)

【摘要】 采用室温碱处理和热处理两种改性方法对黄麻纤维进行表面改性处理,以头发和羊毛纤维为原型,对黄麻纤维进行结构仿生,考察了仿生螺旋型黄麻纤维对摩擦材料摩擦性能的影响。结果表明:螺旋型黄麻纤维质量分数在3%,螺旋升角为66°时材料的摩擦因数符合制动要求,并且耐磨性能最优。在100℃和150℃时,螺旋型黄麻纤维的加入增加了摩擦材料的摩擦因数;在200℃和250℃时,螺旋型黄麻纤维增强摩擦材料的摩擦因数随着纤维添加量的增加而减小,随着纤维螺旋升角的减小而略微减小,而平直型黄麻纤维增强摩擦材料的摩擦因数最高;在300℃和350℃时,螺旋型黄麻纤维摩擦材料表现出较好的耐磨性能,摩擦材料的摩擦因数随着螺旋型黄麻纤维螺旋升角的减小而减小。

关键词: 黄麻纤维　摩擦材料　结构仿生
中图分类号: TB33　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2012)S0-0348-04

Performance Analysis of Bionic Jute Fiber Friction Materials

Chai Xingwang　Yan Zhifeng　Lin Fudong　Sun Junjie　Chen Donghui　Ma Yunhai
(*Key Laboratory of Bionic Engineering*, *Ministry of Education*, *Jilin University*, *Changchun* 130025, *China*)

Abstract

Taking hair and wool fibers as the prototype, the structure bionics of jute fibers was conducted in two modified ways: room temperature alkali treatment and heat treatment. The impact of bionic spiral jute fibers on the frictional properties of the friction materials was investigated. The results showed that when the content of spiral jute fiber was 3% and the helix angle was 66°, friction factor met the brake requirements and its abrasion resistance achieved the most excellent. Spiral jute fiber increased the friction factor of friction material at 100℃ and 150℃. The friction factor of the spiral jute fiber reinforced friction materials decreased with the increase of fiber at 200℃ and 250℃. The friction factor of straight jute fiber got the highest. Spiral jute fiber friction materials showed good wear resistance at 300℃ and 350℃. The friction factor of the friction material decreased with the decrease of helix angle of spiral jute fiber.

Key words　Jute fiber, Friction materials, Structural bionics

引言

摩擦材料的性能对整机系统的安全、高效、稳定等性能有直接影响。我国摩擦材料研究较国外起步晚,技术工艺水平落后,目前还没有技术自主的摩擦材料制品厂。尽快研发具有自主知识产权的性能优异的摩擦材料以满足国内摩擦材料市场的需要,已刻不容缓。我国20世纪70年代末开始研制粉末冶金摩擦材料来代替石棉摩擦材料,但由于其成本较高,再加上粉末冶金摩擦材料对对偶面(一般为铸

收稿日期: 2012-06-01　修回日期: 2012-07-06
* 国家自然科学基金资助项目(51075177)、吉林省留学人员科技创新创业项目、新世纪优秀人才支持计划资助项目、国家产学研用合作创新项目(OSR-04-06)、吉林大学"国家985项目"和长春市科技支撑计划资助项目(11KZ43)
作者简介: 柴兴旺,硕士生,主要从事仿生材料及摩擦学研究,E-mail: chaixw11@mails.jlu.edu.cn
通讯作者: 马云海,教授,主要从事仿生材料及材料摩擦学研究,E-mail: myh@jlu.edu.cn

铁刹车盘)的伤害严重,因而未能大规模占领市场。20 世纪 80 年代,我国开始着力进行无石棉新型摩擦材料(金属摩擦材料、半金属摩擦材料、芳纶及碳纤维增强摩擦材料等)的开发研究工作,并获得可喜成效[1]。目前,在国外,特别是欧洲、日本、美国等发达地区,非石棉摩擦材料得到广泛应用[2~4],自然界中性质优良的黄麻等纤维除很少部分用于纺织造纸外,绝大部分都在自然界自然降解,造成巨大的资源浪费。利用这些天然生物纤维制备成结构仿生纤维用来增强摩擦材料既满足力学性能[5],又能顺应环境友好及可持续发展要求。同有机纤维相比,天然纤维具有无可比拟的优势[6~8]:来源广泛,无毒无害,有利于保护环境。可见,开发可完全生物降解的天然纤维复合材料不仅可以拓宽复合材料的应用范围,还有可能缓解困扰人类发展的环境问题。另外,黄麻、棉花、羊毛等生物纤维素在自然界中数量巨大。本文跟踪汽车摩擦制动材料的现状和发展趋势,利用拥有的先进的汽车摩擦材料全套检测设备,开展生物纤维增强摩擦材料研究。以黄麻纤维为增强纤维,通过结构仿生设计,以期调节和控制摩擦材料的物理性能和摩擦学性能(摩擦因数、磨损率),拓宽生物纤维应用领域。

1　试样制备及试验方法

对黄麻纤维进行了改性处理,自然界中像头发或羊毛这种具有螺旋升角的纤维(如图 1 所示)拥有其他结构纤维所不具备的优良的力学性能,应用仿生螺旋纤维编织机进行螺旋型黄麻纤维的制备,使其具有螺旋结构(如图 2 所示)。摩擦材料试样(块)的压制设备是由吉林大学机电设备研究所生产的 JFY50 型摩擦材料配方研究专用热压机。用切割机制备厚度大致相同的试样,试片摩擦面尺寸为 25 mm×25 mm,试片的厚度不小于 5 mm,把试片的测试面在切割机上进行磨平处理,然后在软件操作平台上选定“磨合”然后点击“开始”按钮,使试样在常温下进行磨合,至试样与圆盘的接触面达 95% 以上。磨合好的试片按照顺序进行标记,然后用天平测量其质量,用千分尺测量其厚度,每个试片测 5 个,分别为试片的 4 个角和中央位置,将结果录入计算机。将摩擦试验温度设定为 100、150、200、250、300 和 350℃,分别进行试验。摩擦盘转动 5 000 r 后,分别记录试验期间的摩擦因数及分别测量不同温度条件下试验后的试片厚度并计算其磨损率。

图 1　头发的角蛋白分子构造示意图

Fig. 1　Construct schematic of hair keratin molecular

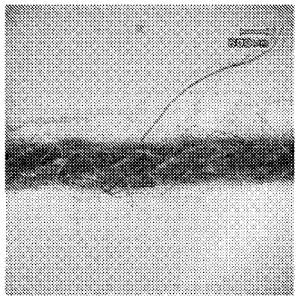

图 2　仿生螺旋结构黄麻纤维

Fig. 2　Bionic helix structure of jute fiber

在参考了已有文献资料及某些经典配方的基础上,最终确定以螺旋升角分别为 75°、66°和 55°,长度为 15 mm 的螺旋黄麻纤维作为增强纤维,主体配方见表 1,用来考察螺旋型黄麻纤维含量对摩擦材料性能的影响,并与平直黄麻纤维比较。

表 1　试验主体成分质量分数

Tab. 1　Main parts of experiment

材料	质量分数/%
复合矿物纤维	15
玻璃纤维	9
丁腈胶粉改性酚醛树脂	13
蛭石粉	5
泡沫铁粉	11
沉淀硫酸钡	19
石油焦炭	6
石墨	8
氧化铝	4
硫化锑	3
摩擦粉	1
碳黑	3
螺旋型黄麻纤维	3

2　试验结果及分析

根据摩擦学理论知识,当摩擦材料的基体为聚合物,摩擦材料与金属对磨时,由于摩擦面的微观状态是非光滑的,凸点在摩擦产生的瞬间应力很大,产生高温会发生黏着(冷焊),其摩擦机理以黏着磨损为主,摩擦因数可以表示为

$$\mu = F/N = C\tau_b A_r/(\sigma A_r) = C\tau_b/\sigma \qquad (1)$$

式中　F——摩擦力　　N——负荷

A_r——真实接触面积　　C——常数,$C \leqslant 1$

τ_b——摩擦材料的剪切强度

σ——摩擦材料的流动压力

在低温情况下(200℃以下),磨损机理以切削磨损、黏着磨损和磨粒磨损为主。随着温度的变化其磨损机理也产生变化,因为材料的抗压、抗剪切、抗拉、抗弯曲强度等都与温度有很大关系,随温度升高而降低。摩擦材料样品 SAEJ661a 在定压式摩擦试验机上进行研究,得出磨损公式,即

$$\Delta W = \alpha p^a v^b t^c \tag{2}$$

式中 p——正压力 ΔW——磨损量

t——摩擦时间 v——滑动速度

α、a、b、c——常数

α、a、b、c 是由材料种类和大气条件决定的常数,摩擦面的温度小于 232℃时,a 是一定的,$a = b = c = 1$ 与许多摩擦材料的试验相吻合。

如图 3 所示,升温条件下,在 100℃和 150℃时差别不明显,但是整体来说螺旋型黄麻纤维起到了增大摩擦因数的作用。在 200℃和 250℃时,平直黄麻纤维摩擦因数最高,螺旋型黄麻纤维的含量越高,摩擦材料摩擦因数越低,这是由于螺旋型黄麻纤维在 200 ~ 250℃之间部分分解,生成焦油类物质,降低了摩擦因数,螺旋型黄麻纤维螺旋升角越小,摩擦材料的摩擦因数越低,但是并不显著。这是由于螺旋升角越小黄麻纤维在摩擦材料中的分布越集中,对整个摩擦样品的摩擦因数影响越小。在 300℃和 350℃时,添加了螺旋型黄麻纤维的摩擦材料表现出较好的耐磨性能,螺旋升角越小的摩擦材料摩擦因数越小,这是由于螺旋型黄麻纤维的加入在高温(300 ~350℃)下分解生成碳粒并产生凹槽,生成的碳粒相当于添加了润滑剂[9~10],碳粒还可以填充不光滑表面,起到保护摩擦材料的作用,有效减小黏着磨损。另外磨损产生的 SiO_2 和 Al_2O_3 等高硬度粒子会滑入黄麻分解产生的凹槽,增加了摩擦材料与对偶面的接触面积,保留住了摩擦因数高的磨粒,而不再对摩擦面产生犁划作用。这种自清洁作用,显著减少磨粒磨损。在 300℃和 350℃时平直黄麻纤维摩擦因数最高,是因为在高温(300 ~350℃)下黄麻分解,产生凹槽,平直纤维分布分散,凹槽分散,导致表面粗糙度高,而螺旋纤维较集中,凹槽较少、较大,有利于磨粒挤入凹槽,减小犁划作用产生的摩擦力。而无黄麻纤维增强的摩擦材料由于基体的热衰退,摩擦因数较高的填料更容易被摩擦力拔出基体,由于没有碳粒润滑和填充不规则表面,摩擦因数高的填料脱落,留下摩擦因数低的填料,摩擦因数衰退严重。所以在 300℃和 350℃含有黄麻的摩擦材料摩擦因数高出很多,黄麻的加入可防止摩擦因数热衰退。

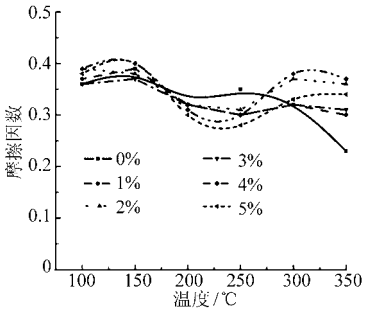

图 3 不同含量螺旋型黄麻纤维增强摩擦材料在升温条件下的摩擦因数曲线

Fig. 3 Friction factor curves of different content of jute fiber reinforced friction materials under the condition of elevating temperature

如图 4 所示,升温条件下,磨损率在 100℃和 150℃时,螺旋升角为 55°和 66°的耐磨性能最高,这是由于 55°的螺旋纤维分布分散,增强效果提高,螺旋升角为 66°时纤维表现出最高的抗拉强度,所以增强效果也很好。而且适当增加螺旋升角为 66°的螺旋纤维用量可能超过 55°的增强效果。在 200℃和 250℃时,不同螺旋升角黄麻纤维增强摩擦材料耐磨性能相似。在 300℃和 350℃时螺旋升角为 66°的螺旋纤维增强摩擦材料耐磨性能最为优异。螺旋纤维较为集中,凹槽少,但凹槽较大、较深,有利于硬质磨粒挤入凹槽,清洁接触表面,减小犁划作用产生的磨粒磨损,另外加工成 66°的螺旋纤维,纤维较集中,与空气接触面积小,有提高耐高温性能的效果。55°的螺旋纤维预紧力不够,较松散,与氧气接触面积较大;75°的螺旋纤维预紧力过大,高温(300 ~ 350℃)下粘结纤维的粘结剂热衰退,由于预紧力的作用,纤维散开,导致与基体脱离,增加了与氧气的接触。所以螺旋升角过高或过低都不利于提高耐高温性能。

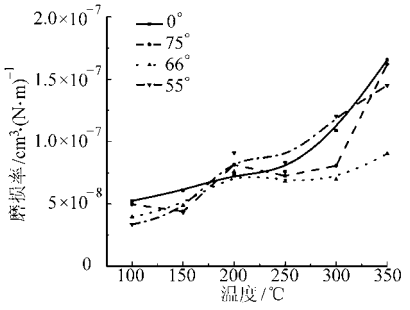

图 4 不同螺旋升角黄麻纤维增强摩擦材料在升温条件下的磨损率曲线

Fig. 4 Wear rate curves of different helix angles of jute fiber reinforced friction materials under the condition of elevating temperature

如图 5 所示,在 100 ~ 150℃范围内,磨损率随着纤维质量分数的增加(从 1% ~5%)有减小趋势,

但是不显著。在200℃到250℃时无黄麻纤维的摩擦材料表现出最优的耐磨性能，采用螺旋型黄麻纤维增强了的摩擦材料随着螺旋型黄麻纤维含量的增多，耐磨性能变差。这是由黄麻与树脂相容性差、易降解、易燃烧等缺点导致的。在300～350℃时，添加了螺旋型黄麻纤维的摩擦材料表现出较好的耐磨性能，并且添加了螺旋型黄麻纤维的摩擦片摩擦因数基本在0.3～0.4之间，符合制动要求。

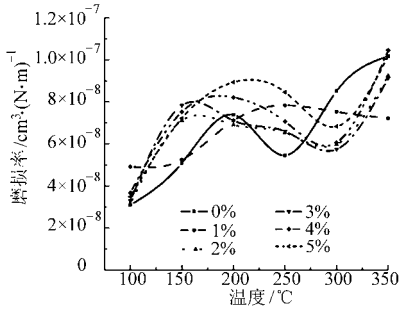

图5　不同含量螺旋型黄麻纤维增强摩擦材料在升温条件下的磨损率曲线

Fig. 5　Wear rate curves of different contents of spiral jute fiber reinforced friction material under the condition of elevating temperature

整体来说黄麻纤维质量分数在3%、螺旋升角为66°时的螺旋纤维增强摩擦材料耐磨性能最好，特别是在300℃条件下，表现出最优的耐磨性能，并明显高于平直纤维摩擦材料。

3　结论

（1）在低温下（100～150℃）螺旋型黄麻纤维对摩擦材料起到了增大摩擦因数的作用，在200～250℃条件下由于黄麻纤维热分解生成碳粒，而碳粒有自清洁表面和润滑的作用，摩擦因数减小。在300℃和350℃含有黄麻的摩擦材料摩擦因数高出很多，黄麻的加入可防止摩擦因数热衰退。螺旋型黄麻纤维在高温（300～350℃）下增加了摩擦材料与对偶面的接触面积，保留住了摩擦因数高的磨粒。而无黄麻纤维增强的摩擦材料由于基体的热衰退，摩擦因数较高的填料最容易被摩擦力拔出基体，留下摩擦因数低的填料，摩擦因数衰退严重。

（2）添加了螺旋型黄麻纤维的摩擦材料表现出较好的耐磨性能，螺旋型黄麻纤维在高温（300～350℃）下分解生成碳粒并产生凹槽，生成的碳粒相当于添加了润滑剂，碳粒还可以填充不平整表面，起到保护摩擦材料的作用，有效减小黏着磨损。另外磨损产生的Al_2O_3等高硬度粒子会滑入黄麻分解产生的凹槽，而不再对摩擦面产生犁划作用，显著减少磨粒磨损。因此螺旋型黄麻纤维增强摩擦材料有利于提高耐磨损性能。

（3）螺旋型黄麻纤维质量分数在3%、螺旋升角为66°时摩擦因数符合制动要求，并且耐磨性能最为优异，明显高于平直黄麻纤维增强摩擦材料。

参　考　文　献

1　马洪涛，张勇亭，杨军. 汽车制动摩擦材料研究进展[J]. 现代制造技术与装备，2011(5)：76～79.
Ma Hongtao, Zhang Yongting, Yang Jun. Research progress of automobile braking friction materials [J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2011(5):76～79. (in Chinese)

2　Norio Iwashita, Eleni Psomiadou, Yoshihiro Sawada. Effect of coupling treatment of carbon fiber surface on mechanical properties of carbon fiber reinforced carbon composites[J]. Composites Part A, 1998, 29A: 965～972.

3　Dhakate S R, BahI P, Sahare P D. Oxidation behavior of PAN based carbon fiber reinforced phenolic resin matrix composites [J]. Journal of Materials Science Letters, 2000, 19: 1 959～1 961.

4　Mitra B C, Bsak R K. Studies on jute-reinforced composites, its limitations, and some solutions through chemical modification of fiber [J]. Appl. Polym. Sci., 1998, 67(6): 1 093～1 100.

5　Zhang Kun, Wang Yuqing, Zhou Benlian. Biomimetic study on helical fiber composites[J]. Journal of Materials Science and Technology, 1998, 14(1) :29～32.

6　Du Jun, Liu Yaohui, Yu Sirong, et al. Effect of alumina fiber volume fraction on dry sliding friction and wear behavior of alumina and carbon short fibers reinforced aluminum alloy hybrid composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2003, 20(4):5～9.

7　Li C, Feng A H, Gu X J, et al. Localized cyclic strain measurements of friction stir welded aluminum alloy using a flat-clad optical fiber sensor array[J]. IEEE Sensors Journal, 2010, 10(4):888～892.

8　Liu Leili, Wei Wei, Tang Yiping, et al. Friction and wear properties of short carbon fiber reinforced aluminum matrix composites[J]. Wear, 2009, 266(7～8):733～738.

9　Gunderson S, Schiavone R. The insect exoskeleton: a natural structural composite[J]. JOM, 1989, 41(11): 60～62.

10　Chen B, Peng X, Cai C, et al. Helicoidal microstructure of Scarabaei cuticle and biomimetic research[J]. Materials Science and Engineering: A, 2006, 423(1～2): 237～242.