

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.070

仿生螺旋纤维制备与力学性能测试*

沈生龙 林福东 闫志峰 汤作本 孙俊杰 马云海

(吉林大学工程仿生教育部重点实验室, 长春 130025)

【摘要】对黄麻纤维进行仿生螺旋结构化设计,并对其进行力学性能测试,首先将黄麻纤维分成纤维丝后进行表面处理,然后运用螺旋编织机对3股黄麻纤维进行不同螺旋升角仿生螺旋结构加工并应用固化剂定型,通过调节转速可以控制螺旋升角的大小,然后对其进行力学性能实验,结果表明具有仿生螺旋结构的黄麻纤维的断裂负荷随螺旋升角的减小呈先增大后减小的趋势,具有仿生螺旋结构的黄麻纤维在螺旋升角为66°时具有较优的综合力学性能,在螺旋升角大于66°时纤维受力不均匀,纤维逐根断裂,小于66°时在同样外拉力作用下,螺旋升角越小纤维受力越大。

关键词:黄麻纤维 仿生结构 制备 力学性能

中图分类号:TB383;TB17 文献标识码:A 文章编号:1000-1298(2012)S0-0344-04

Bionic Helical Fiber Preparation and Mechanical Performance Testing

Shen Shenglong Lin Fudong Yan Zhifeng Tang Zuoben Sun Junjie Ma Yunhai

(Key Laboratory of Bionic Engineering, Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract

Bionic structure of jute fiber was designed. The mechanical properties of jute fiber with bionic structure were tested. First, jute fiber was divided into filaments. The surface treatment was used on jute fiber filaments; three shares of jute fiber were woven into a different helix angles bionic helical structure by using the spiral knitting machine and stereotypes. The size of the helix angle could be controlled by adjusting the speed of the spiral knitting machine. Its mechanical properties were tested. Results showed that, the breaking load of jute fiber which had bionic helical structure first increased and then decreased. Spiral fiber elongation was declined with the decrease of helix angle. Jute fiber with bionic helical structure had optimum comprehensive mechanical properties at the helix angle of 66°. When the helix angle was more than 66°, the stress of the fiber was unbalance, and then the fiber was fractured. When the helix angle is less than 66°, the fiber force increased with the decreasing of helix angle's.

Key words Jute fiber, Bionic structure, Preparation, Mechanical properties

引言

目前,可作为制动摩擦材料增强纤维的主要有玻璃纤维和有机合成纤维,如碳纤维^[1]、芳纶纤维^[2]等,这些纤维材料性能均一,是较为理想的增强材料。黄麻^[3]、棉花^[4]、羊毛^[5]等生物纤维素在

自然界中数量巨大,但是天然生物纤维存在性能均一性差、与基体材料相容性差、耐热性能差、易燃烧等缺点,目前只能作为低速低温制动工况下的添加物。以黄麻纤维为增强纤维,通过结构仿生设计并进行力学等性能测试,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

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:沈生龙,硕士生,主要从事摩擦材料及其摩擦学研究,E-mail: shensl11@jlu.edu.cn

通讯作者:马云海,教授,主要从事仿生材料及其摩擦学研究,E-mail: myh@jlu.edu.cn

生物纤维应用领域。

1 材料选取与试样制备

1.1 材料的选取

从表 1^[6]可以看出,天然植物纤维具有较高的拉伸强度、模量和比较小的密度,适合作为低温工况

下复合材料的增强体,在非结构件和半结构件应用领域具有非常强的优势。因此,本研究选取天然生物纤维黄麻制备仿生纤维,原麻直径为 1 mm(图 1)。进行必要的表面改性处理,同时改进了纤维编织方案和工艺,为结构仿生纤维的研究作准备。

表 1 常用天然植物纤维及合成纤维的力学性能
Tab.1 Mechanical properties of several commonly used natural plant fibers and synthetic fibers

纤维种类	密度/g·cm ⁻³	断裂伸长率/%	拉伸强度/MPa	拉伸模量/GPa	比强度/MPa·cm ⁻³ ·g ⁻¹	比模量/GPa·cm ⁻³ ·g ⁻¹
黄麻	1.3	1.5~1.8	393~773	26.5	302~595	20.4
亚麻	1.5	2.7~3.2	345~1 035	27.6	230~690	18.4
大麻	1.5	1.6	690		460	
苧麻	1.5	3.6~3.8	400~938	61.4~128	267~625	40.9~85.3
剑麻	1.5	2.0~2.5	511~635	9.4~22.0	341~623	6.3~14.7
棉纤维	1.5	7.0~8.0	287~597	5.5~12.6	191~398	3.7~8.3
椰纤维	1.2	30.0	175	4.0~6.0	146	3.3~5.0
软木牛皮纸纤维	1.5		1 000	40.0	667	26.7
E-玻璃纤维	2.5	2.5	2 000~3 500	70.0	800~1 400	28.0
芳纶纤维	1.4	3.3~3.7	3 000~3 150	63.0~67.0	2 143~2 250	45.0~47.9
碳纤维	1.4	1.4~1.8	4 000	230~240	2 857	164~171

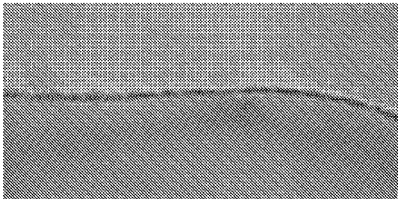


图 1 原料黄麻纤维形态
Fig.1 Raw jute fiber morphology

1.2 材料的表面处理

表 2 所示为黄麻纤维主要化学成分。

表 2 黄麻主要化学成分质量分数
Tab.2 Main chemical composition of jute %

成分	纤维素	半纤维素	果胶	木质素	脂肪及蜡质	灰分
数值	59~63	14~16	0.5~1.0	9~17	0.3~0.5	0.5~1.5

针对黄麻纤维的成分特点,先对黄麻纤维进行分丝处理,然后将处理好的黄麻纤维充分浸润在1:1配比的甲醇-苯溶液中浸泡 24 h,去除一定的淀粉和蜡质。然后对其进行碱处理。将用水清洗并浸湿经过预处理的黄麻纤维浸泡在氢氧化钠溶液(浓度为 17%)中,浸泡 2 h 后,用自来水冲洗去除多余碱溶液,再用硫酸(浓度 2%)进行中和,然后放入足量的蒸馏水中,这样处理后可彻底排除酸碱对纤维的影响。最后将黄麻纤维置于 140℃电热干燥箱中,保温 3 h,见图 2。分别做拉伸试验,观测其拉伸断口形貌,结果如图 3 所示。

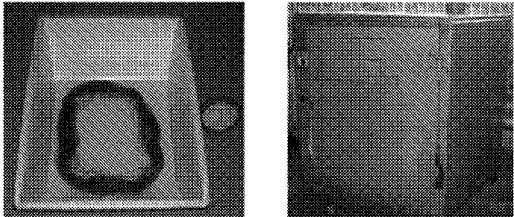


图 2 室温碱处理槽以及电干燥箱
Fig.2 Alkali treatment tank and electric drying box at room temperature

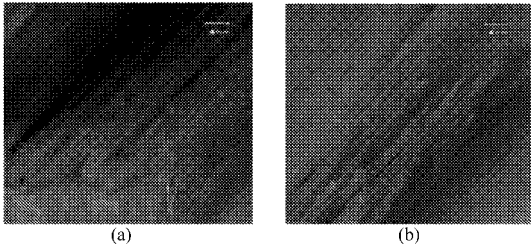


图 3 黄麻纤维体式显微镜拉伸断口
Fig.3 Stereo microscope of jute fiber tensile fracture
(a)碱性处理 (b)未作碱性处理

1.3 仿生结构设计

应用螺旋编织机对处理过的黄麻纤维进行仿生螺旋加工,股线捻度与单纱捻度的比值简称捻度比。捻度比对纤维的力学性能的影响很大。仿生螺旋纤维按照一定的螺旋升角进行编织,主要测定不同的螺旋升角对仿生螺旋纤维力学性能的影响,为使捻度比对仿生螺旋纤维力学性能的影响最小,安装时应使皮层纤维在缠绕的过程中释

放捻度。纤维离开线股通过加工成圆润形状的通孔引导,均匀而稳定的缠绕在纤维编织机上,并用粘结剂使缠绕成型的螺旋纤维浸润,最后用吹风机吹干,待成型的纤维干透后取下,如干不透就取下,预紧力释放,将严重影响纤维力学性能。得到符合要求的试样,要求如下:纤维螺旋升角均匀,每隔 100 mm 测量的螺旋升角的误差不超过 2°;喷洒速干定型剂 20 min 后,仿生纤维没有松散的现象。部分成品见图 4。

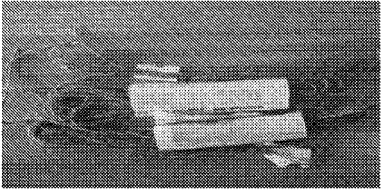


图 4 螺旋型黄麻纤维成品
Fig. 4 Spiral finished jute fiber

2 试验

2.1 测定螺旋升角

要研究螺旋纤维的力学性能,首先应准确测定纤维的螺旋升角。螺旋升角是螺旋线切线与横截面之间的夹角,测定螺旋升角时应该选定中轴线然后确定与轴线垂直的平面以及螺旋线的切线,然后测量面与线之间的夹角,即为螺旋升角。因中轴线只是一个假想的线,无法确定其位置和角度,所以螺旋升角的测定,以纤维圆柱沿直径方向切开产生的棱线与螺旋线的切线之间的夹角为螺旋升角。首先,选用与 Olympus SZX12 体视显微镜配套的 DP12-2 型数码相机作为图像采集装置。然后,应用计算机软件 Olympus 进行后续处理,沿纤维的纵向绘制纤维圆柱体边缘线的平行线作为中轴线,并选取一个螺旋线与轴线的交点,在这点处绘制垂直于轴线的直线,作为垂直于中轴线的平面线。沿仿生螺旋纤维相邻两股纤维的聚合线绘制纤维的平面走向线,作为其螺旋线的切线;它们之间的夹角即为螺旋升角。最后运用 Olympus 应用软件中的测量角度命令,选取形成角度的两条线,随即生成一角度值,即为该仿生螺旋纤维中皮层纤维缠绕的螺旋升角(图 5)。

2.2 拉伸试验

试样长度:在用纤维编织机制备的合格品中抽取不同位置的螺旋纤维作为试样,试样整体长度为 150 ~ 200 mm,有效部分为 100 mm。

试样数量:在拉伸试验中,对每一种螺旋升角样品进行 7 次重复试验。

试样绑缚:根据 GB/T 12411—2006 黄、红麻纤

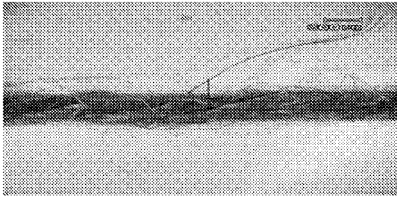


图 5 仿生螺旋纤维螺旋升角测量方法的照片
Fig. 5 Helix angle measuring in biomimetic helical fiber

维试验方法规定,在试样的两端距离绑缚的长度 25 mm 左右处进行绑缚,以避免拉伸过程中上、下夹持器因对试验样品夹持作用力不足而将纤维拉断,使夹持器能充分夹持绑缚部分,以达到绑缚的目的。另外这种夹持方法可减弱拉伸过程中产生的剪切应力将纤维端部剪断,使得测试结果不再是断裂载荷而是有剪切作用下的断裂强度。通过这种方法绑缚的样品断裂位置在纤维薄弱处,而非夹持处,说明绑缚合格,试验数据有效。并采用 WDW-20 型微机控制电子万能试验机进行拉伸试验。根据先前的研究工作预测出其断裂载荷大致范围而选择传感器量程为:50 ~ 200 N,在这种量程下试验机分辨率为 0.3 N,具有较强抗干扰能力。

2.3 结果分析

图 6 所示为试样拉伸断裂负荷试验结果。图 7 所示为试样断裂伸长率的试验结果。

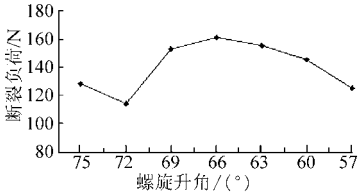


图 6 3 根原麻纤维螺旋试样断裂负荷曲线
Fig. 6 Three hemp fiber spiral specimen fracture load diagram

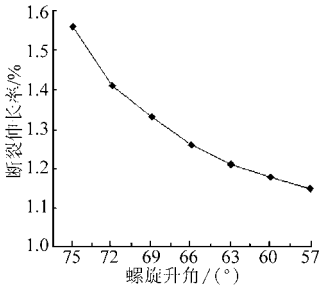


图 7 3 根原麻纤维螺旋试样断裂伸长率曲线
Fig. 7 Three hemp fiber spiral specimen elongation at break map

根据图 6 可知,螺旋纤维断裂负荷随螺旋升角减小先增大后减小,峰值在 66°左右。在大于 66°时由于亚麻纤维弯曲程度各异,预张紧过小,部分纤维处于弯曲状态,部分纤维开始受力,导致受力不均,纤维逐根断裂,导致断裂负荷下降。在小于 66°时,断裂负荷随螺旋升角减小呈减小趋势,纤维受力

$F_1 = F_2 / \sin \theta$, 其中 F_1 为纤维受力, F_2 为外拉力, θ 为螺旋升角。相同拉力下, θ 越小, 纤维受力越大, 越容易断裂。这个临界值与纤维的摩擦因数、弯曲度、均匀程度等相关。试验证明, 在 66° 时螺旋型黄麻纤维表现出最佳抗拉性能。

根据图 7 可知, 随着螺旋升角的减小试样断裂伸长率的连线呈下降趋势, 呈类似抛物线型, 由此可以推测, 3 根天然纤维缠绕成形的螺旋纤维, 其断裂伸长率随着纤维缠绕时的螺旋升角的减小而减小。

3 结论

(1) 影响编织纤维性能的主要因素为纤维的捻度以及粘结剂的粘结质量。编织螺旋纤维时应保证纤维释放捻度。另外制备过程中应用粘结剂充分浸

润, 然后用吹风机吹干后方可取下。这样的制造工艺使得粘结剂的粘结作用最好, 能有效防止纤维在收线过程中应力释放而松散。

(2) 试验结果表明, 天然纤维缠绕成形时, 调节转速可以控制螺旋升角的大小。经过对不同螺旋升角的断裂载荷和断裂伸长率进行测定发现: 螺旋纤维断裂负荷随螺旋升角减小先增大后减小, 在螺旋升角为 66° 时, 黄麻纤维断裂负荷达到最大, 这时的螺旋型黄麻纤维力学性能最优。大于 66° 时纤维受力不均匀, 纤维逐根断裂, 小于 66° 时在同样外拉力作用下, 螺旋升角越小纤维受力越大。这个临界值与纤维的摩擦因数、弯曲度、均匀程度等相关。断裂伸长率曲线随螺旋升角的减小呈抛物线状下降。

参 考 文 献

- 1 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: Applied Science and Manufacturing, 1998, 29(8): 965 ~ 972.
- 2 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(21): 1 959 ~ 1 961.
- 3 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.
- 4 Petersen J H, Reitz H, Benzon M E. Tribological properties of sulfur-implanted steel[J]. Surface & Coatings Technology, 2004, 179(2 ~ 3): 165 ~ 175.
- 5 王雪明, 张佐光, 李敏, 等. 铜纤维/芳纶浆粕混杂增强摩擦材料的冲击性能研究[J]. 材料工程, 2009(3): 27 ~ 31.
Wang Xueming, Zhang Zuoguang, Li Min, et al. Studies on impact strength of friction materials reinforced by aramid pulp and copper fiber[J]. Journal of Materials Engineering, 2009(3): 27 ~ 31. (in Chinese)
- 6 鲁博, 张林文, 曾竟成. 天然纤维复合材料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.