

DOI: 10.19333/j.mfkj.2017100120904

蓖麻蚕丝/镀银聚酯纤维/抗紫外天丝纤维/低熔点 聚酯纤维功能复合膜材料的成形及其应用研究

陈宏武¹, 王慧玲^{1,2}, 周彬^{1,2}, 张伟¹, 赵磊^{1,3}, 樊理山¹, 王圣杰⁴, 杨贺¹

(1. 盐城工业职业技术学院, 江苏 盐城 224005; 2. 浙江理工大学, 浙江 杭州 310018;

3. 苏州大学, 江苏 苏州 215000; 4. 江苏悦达家纺有限公司, 江苏 盐城 224000)

摘要: 将蓖麻蚕丝纤维与低熔点聚酯纤维(LPET)、镀银聚酯纤维(Ag-PET)和抗紫外天丝纤维(Tencelsun)共混, 利用微型开梳联合机对混合原料进行梳理成网, 采用超声振荡成膜和红外烘焙黏结的方式开发功能复合产品, 并测试其电磁屏蔽效能、紫外线防护系数、抑菌率、保暖率、膜透气率、膜断裂强力等指标, 结合相关标准进行对比分析。结果表明: 该材料结构稳定, 兼具防电磁和紫外辐射、抗菌、保暖性能于一体。按照4因子3水平设计正交试验方案, 利用灰色聚类分析进行程序化优化, 确定最佳工艺。

关键词: 蓖麻蚕丝; 低熔点聚酯纤维; 镀银聚酯纤维; 抗紫外天丝纤维; 超声波; 灰色聚类

中图分类号: TS 146

文献标志码: A

Study on the forming and application of functional composite membrane materials with castor silk /Ag-PET/Tencelsun/LPET

CHEN Hongwu¹, WANG Huiling^{1,2}, ZHOU Bin^{1,2}, ZHANG Wei¹, ZHAO Lei^{1,3}, FAN Lishan¹,
WANG Shengjie⁴, YANG He¹

(1. Yancheng Industry Vocational Technology College, Yancheng, Jiangsu 224005, China;

2. Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China;

3. Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215000, China;

4. Jiangsu Yueda Home Textile Co., Ltd., Yancheng, Jiangsu 224005, China)

Abstract: Abstract: Castor silk, LPET, Tencelsun and Ag-PET were blended and combed into net by the micro combing machine. Functional composite products based on the materials were developed by ultrasonic and infrared, and the shielding effectiveness, ultraviolet protection factor, inhibitory rate, thermal rate, membrane permeability, breaking strength and other indicators were tested and compared with standard, results indicated that: the material structure is stable and it also have anti-electromagnetic and ultraviolet radiation, antibacterial, thermal insulation properties in one. Orthogonal experiment and gray clustering methods was used to achieve the optimized condition.

Keywords: castor silk; LPET; Ag-PET; tencelsun; ultrasonic; grey clustering

收稿日期: 2017-10-23

基金项目: 江苏高校品牌专业建设工程资助项目 (PPZY2015C254); 江苏省高等职业院校教师专业带头人高端研修项目 (2017GRFX060); 江苏省高等职业院校教师专业带头人高端研修 (2016TDFX012); 江苏省高职院校教师专业带头人高端研修项目 (2017TDFX005)

第一作者简介: 陈宏武, 教授, 硕士, 主要研究方向为纺织新产品开发。通信作者: 王慧玲, E-mail: 15949149270@126.com。

蓖麻蚕是一种适应性很强的多食性野蚕, 在中国一年可连续繁育7~9次, 因此其蚕丝原料来源极其丰富^[1-2]。蓖麻蚕茧的茧层较薄, 约占整个蚕茧的10%, 茧衣约占的3.6%, 茧衣与茧层无明显界限, 由于蓖麻蚕茧一端有一个羽化孔, 蓖麻蚕茧解舒丝长度大约20m左右, 其纤维线密度在0.1~1.2tex之间, 且不匀度较大, 不能缫丝, 主要用于绢纺原料, 其应用受到较大的限制^[3]。本文结合蓖麻蚕丝的结构和性能, 将蓖麻蚕丝与低熔点聚酯纤维

(LPET)、镀银聚酯纤维(Ag-PET)和抗紫外天丝纤维(Tencelsun)共混,采用超声振荡成膜和红外烘烤黏结的方式开发功能性复合产品,利用低熔点PET的低温熔融特性、镀银聚酯纤维(Ag-PET)的导电性和抗菌性以及Tencelsun纤维的防紫外性能,最终形成一种结构稳定,兼具防电磁和紫外辐射、抗菌、保暖于一体的复合材料,可作为高附加值功能成形产品的原料,一般用于家纺填充材料、功能防护服装面料,经双向拉伸后可作为保健面膜原料。

本文按照4因子3水平设计正交试验方案,利用灰色聚类分析进行程序化优化,确定最佳工艺,为蓖麻蚕产品的开发提供一种思路。

1 蓖麻蚕丝复合膜的成形

1.1 试验准备

原料:蓖麻蚕茧丝(中国农业科学蚕业研究所)纤维长度40 mm,线密度0.17 tex;低熔点聚酯纤维(LPET)(仪征至和特种化纤有限公司),纤维长度40 mm,线密度0.33 tex,熔点110 ℃;镀银聚酯纤维(Ag-PET)(青岛天银纺织科技有限公司),纤维长度38 mm,线密度0.33 tex;Tencelsun纤维(奥地利兰精(Lenzing)公司)纤维长度38 mm,线密度0.27 tex。

仪器:FKW-260C型微型开梳联合机(河北先锋机械有限公司),复合膜成形装置(自制)。FKW-260C型微型开梳联合机主要由FVL-260型喂料机、FK-350型多辊开松机、WFA-178型喂棉箱及RSYH350型自调匀整装置组成。复合膜成形装置示意图见图1。

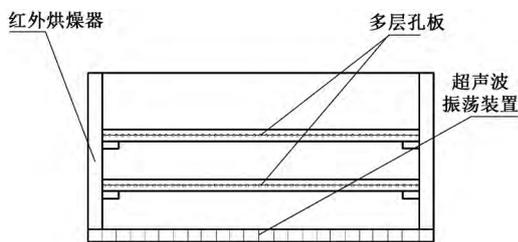


图1 复合膜成形装置示意图

复合膜成形装置参数设置:超声波频率20~50 kHz,功率1.0~1.5 kW,时间5~20 min;红外热源温度0~200 ℃,时间0.1~0.2 h。

1.2 复合膜成形过程

①采用FKW-260C型微型开梳联合机对原料进行混合,按照设计的混纺比例称取一定质量的4种纤维原料,经FVL-260型喂料机及FK-350型多辊开松机进行开松、除杂、混合,再经过WFA-178型喂棉箱,最后通过RSYH350型自调匀整装置,将4种

原料混合成网状,作为复合膜成形的原料。

②将①中所得的原料多方向平铺在复合膜的成形装置的多层孔板上。多层孔板上排列均匀的小孔,每英寸(2.54 cm)不小于500目,在成形装置中加入适当的纯水,超声波振荡装置对平铺的纤维网进行高频机械振动,在纤维网表面产生的“空化”作用使纤维进行微移,以达到均匀平铺的目的。

③将成形装置中的纯水释放,利用红外烘烤器进行烘烤,温度115 ℃。此时纤维网中的低熔点PET发生熔融,纤维之间相互黏连,形成一个有机的整体,最终得到功能复合膜^[4-5]。

2 蓖麻蚕丝复合膜成形工艺优化

2.1 试验方案选取

本文选取成形过程中原料(Ag-PET/Tencelsun/LPET)的混比(蓖麻蚕丝的比例固定不变,为60%)、超声振荡频率、超声处理的时间、红外加热的时间4个因素作为研究对象^[6],每个因子设置高、中、低3个水平进行组合,形成正交试验设计的9种方案,每种方案对应相应的试验结果。正交试验因素水平表见表1,正交试验方案与测试结果见表2。

表1 正交试验因素水平表

水平	原料混比 A/%	超声频率 B/kHz	超声振荡 时间 C/min	红外加热 时间 D/min
1	2:1:1	28	10	6
2	1:2:1	38	15	9
3	1:1:2	48	20	12

2.2 方案优选

本文试验选取复合膜材料的最小屏蔽效能、紫外线防护系数、抑菌率、保暖率、膜透气率、膜断裂强力6个指标作为影响试验方案评价的因素。6个指标权重相当,利用灰色聚类分析优选最佳方案。

2.2.1 白化数确定

材料对应的几种性能指标均具有正相关性,符合相关要求,根据表2正交试验测试结果可以得到聚类白化数值,用 d_{ij} 表示为:

$$d_{ij} = \begin{bmatrix} 99.9876 & 48.7 & 93.3 & 27.3 & 541 & 62.5 \\ 99.9680 & 44.7 & 92.8 & 25.9 & 532 & 65.3 \\ 99.9721 & 46.2 & 93.2 & 25.7 & 509 & 73.5 \\ 99.9586 & 70.4 & 92.3 & 22.3 & 502 & 72.3 \\ 99.9319 & 58.6 & 92.5 & 22.9 & 532 & 65.5 \\ 99.9393 & 55.7 & 92.8 & 21.1 & 519 & 70.1 \\ 99.5860 & 48.9 & 91.1 & 20.8 & 501 & 69.1 \\ 99.8870 & 48.5 & 91.4 & 19.5 & 498 & 78.1 \\ 99.9414 & 50.7 & 90.1 & 19.2 & 567 & 65.2 \end{bmatrix}$$

表 2 正交试验方案与测试结果

试验号	A	B	C	D	最小屏蔽效能/%	紫外线防护系数 UPF 值	抑菌率/%	保暖率/%	膜透气率/(mm·s ⁻¹)	膜断裂强力/N
1	1	1	1	1	99.987 6	48.7	93.3	27.3	541	62.5
2	1	2	2	2	99.968 0	44.7	92.8	25.9	532	65.3
3	1	3	3	3	99.972 1	46.2	93.2	25.7	509	73.5
4	2	1	2	3	99.958 6	70.4	92.3	22.3	502	72.3
5	2	2	3	1	99.931 9	58.6	92.5	22.9	532	65.5
6	2	3	1	2	99.939 3	55.7	92.8	21.1	519	70.1
7	3	1	3	2	99.586 0	48.9	91.1	20.8	501	69.1
8	3	2	1	3	99.887 0	48.5	91.4	19.5	498	78.1
9	3	3	2	1	99.941 4	50.7	90.1	19.2	567	65.2

2.2.2 白化权系数矩阵及分析

利用 MATLAB 软件编写程序,对上述方案进行运算,得到的白化权系数矩阵如下所示:

$$\sigma_{ik} = 1 \times 10^4 \times \begin{bmatrix} 2.141 1 & 1.305 3 & 0.014 1 \\ 1.130 8 & 2.249 7 & 0.024 3 \\ 0.180 3 & 1.123 5 & 1.966 5 \\ 0.120 7 & 0.204 1 & 2.925 2 \\ 1.069 5 & 2.348 2 & 0 \\ 0.110 2 & 2.728 6 & 0.498 7 \\ 0 & 0.040 6 & 3.191 5 \\ 0 & 0.159 8 & 3.050 3 \\ 3.413 8 & 0.094 2 & 0.108 7 \end{bmatrix}$$

结合灰色聚类的运算原则进行结果评价分析,每一行中的 3 个运算结果对应相关试样的综合评价分析符合优、良、差 3 个灰类的可能性,以数值最大的为依据,数值最大的,则评价结果符合相对应的那个灰类。如白化权系数矩阵第 3 横行中 3 个数值为 0.180 3、1.123 5、1.966 5,其中第 3 个数值最大,因此这种方案属于“差”的那个灰类。据此可以得出:方案 1、方案 9 为优选方案。

3 复合膜材料的防护功能试验及分析

以第 1 种方案为例,对功能复合材料的性能进行分析研究。

3.1 防电磁辐射性能测试与分析

采用 DR913 纺织品防电磁辐射性能测试仪,对功能复合膜材料进行全频率(25 MHz ~ 1.3 GHz)防电磁辐射性能测试,功能复合膜材料防电磁辐射性能见图 2。

由图 2 可知,该材料最大屏蔽效能 SE 为 99.999 7%,对应频率为 90 MHz,最小屏蔽效能 SE 为 99.987 6%,对应频率为 210 MHz。由于镀银涤纶纤维表面包覆一层致密、均匀、牢固的镀银层,

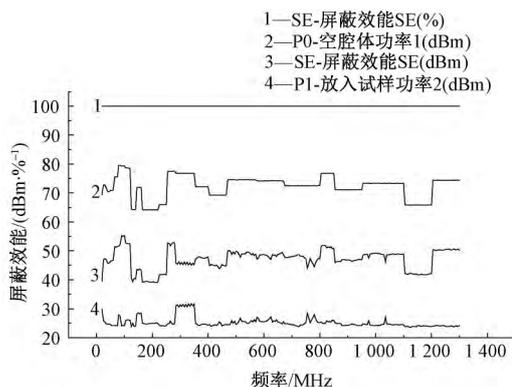


图 2 功能复合膜材料防电磁辐射性能

纤维导电性良好。膜材料在超声振荡过程中形成一个封闭连续的导电网络,可以对外部的电磁波产生反射和引流,将其阻挡在膜的外层无法进入材料内部空间,因此,复合膜材料的防电磁辐射性能优良^[7-8]。

3.2 防紫外线性能测试与分析

采用 YG902C 防紫外线透过及防晒保护测试仪对复合膜材料进行防紫外线性能指标测试^[9-10],功能复合膜防紫外线性能见图 3。

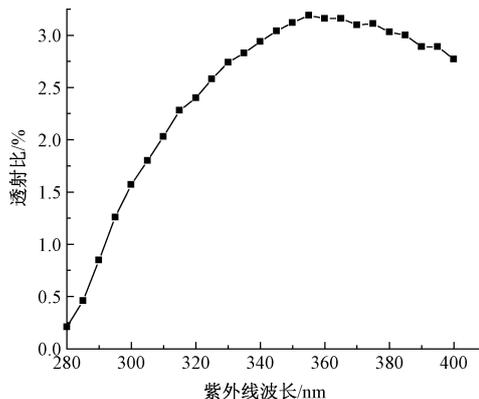


图 3 功能复合膜防紫外线性能

经测试系统计算得出:该织物的紫外线防护系数 UPF = 48.7, UVA 的透射比 $T(UVA) = 2.94\%$,

UVB的透射比 $T(\text{UVB}) = 1.32\%$,日光紫外线透射比 $T(\text{UVR}) = 2.47\%$ 。参照 GB 18830—2009《纺织品 防紫外线性能的评定》规定,当样品的紫外线防护系数 $\text{UPF} > 40$,且 $T(\text{UVA}) < 5\%$ 时,可称为防紫外线产品。结合测试结果,该复合膜材料符合防紫外线产品的要求。复合膜材料中 Tencelsun 纤维属于防紫外线纤维,纤维含有来源于矿物质的长效抗紫外线辐射剂,同时低熔点聚酯材料(LPET)在红外烘烤过程中熔融结合成膜,对紫外线产生阻隔作用,该复合膜材料具有优良的紫外线防护功能。

3.3 其他性能测试与分析

采用 YG(B) 606E 型织物保温性能测试仪,对功能复合膜材料的保温性能进行测试,9种样品平均保暖率为 22.7%,分析认为,由于蓖麻蚕丝导热系数较低,在超声振荡过程中与其他几种纤维交叉混合,加上低熔点聚酯纤维的连接作用,形成比较稳定的结构,长期保持较多的静态空气,从而整个纤维几何体导热系数低,保暖性能好。

采用 YG461A 织物透气仪对复合膜材料的透气性能进行测试,其平均透气率达到 522 mm/s,最高透气率可达 567 mm/s,相同厚度和面密度的桑蚕丝机织面料的透气率一般在 450 ~ 480 mm/s,说明低熔点聚酯纤维在低温熔融过程中只是在接触点的地方发生比较大的熔融结合,未产生大面积的片状结构,不影响复合膜的整体透气性能,由于纤维排列均匀,透气率较一般机织面料要好,所以蓖麻蚕丝复合功能膜材料具有较好的热湿舒适性能。

采用振荡法对复合膜材料进行抗菌性能测试,以大肠杆菌为例,其平均抑菌率可达到 92.2%,远远超过相关标准规定的 70%,说明其具有较好的抗菌效果,主要由于 Ag-PET 表层镀的银具有显著的抗菌能力。

4 结束语

蓖麻蚕丝原料来源广,产量高,蓖麻蚕茧具有羽化孔不能连续缫丝,主要用于绢纺原料,限制了其开

发利用。本文结合蓖麻蚕丝的结构和性能,将蓖麻蚕丝分别与具有抗菌、导电、防紫外等功能的纤维材料利用低熔点 PET 进行有机结合,采用超声空化作用将其振荡成膜,开发功能性的复合产品,并测试复合膜材料的屏蔽效能,紫外线防护系数、抑菌率、保暖率、膜透气率、膜断裂强力等指标,结合相关标准进行对比分析。结果表明:该复合膜材料结构稳定,集防电磁和紫外辐射、抗菌、保暖于一体,可以作为高附加值功能成形产品的材料。按照 4 因子 3 水平设计正交试验方案,利用灰色聚类分析进行程序化优化,确定最佳工艺,为蓖麻蚕产品的开发提供一种思路。

参考文献:

- [1] 董凤春. 野蚕茧丝的结构与性能[D]. 苏州: 苏州大学, 2006.
- [2] 张国兵, 樊理山. 蓖麻蚕丝木瓜蛋白酶脱胶工艺的研究[J]. 辽宁丝绸, 2011(2): 13-14.
- [3] 徐梅, 左保齐. 再生蓖麻蚕丝素蛋白静电纺丝的结构研究[J]. 丝绸, 2008(3): 16-18.
- [4] 周彬, 王慧玲, 樊理山. 一种含胶类纤维成膜方法及其装置: 中国, 2013100608296 [P]. 2013-02-27.
- [5] 樊理山, 周彬, 王慧玲. 一种复合纤维网、蓖麻蚕丝复合材料及其制作方法: 中国, 201710200883.4 [P]. 2017-03-29.
- [6] 王厉冰, 胡心怡, 齐素祯. 灰色聚类分析在纺织材料性能综合评价中的应用[J]. 天津工业大学学报, 2006(3): 23-26.
- [7] 张红霞, 陆艳, 田伟. 镀银纤维含量对织物抗菌性能的影响[J]. 纺织学报, 2011, 32(9): 38-41.
- [8] 张志清, 朱红, 王进美. 镀银纤维抗电磁辐射休闲面料的开发[J]. 毛纺科技, 2013, 41(9): 21-23.
- [9] 王绍斌, 王小梅, 段亚峰. 不锈钢金属纤维混纺织物的防微波辐射性能[J]. 毛纺科技, 2002, 30(3): 3-5.
- [10] 樊理山, 周彬, 王慧玲. 一种蓖麻蚕平板丝制作方法及其一种面膜: 中国, 201710200884.9 [P]. 2017-03-29.