

表面处理对芳纶纤维物理和机械性能的影响

王晓晓¹ 彭浩凯^{1,2*} 张晓慧¹ 罗贵明¹ 李婷婷¹ 王煦怡²
吴利伟¹ 姜 茜¹ 林佳弘^{1,3,4}

(1.天津工业大学纺织学院,智慧纺织与节能制品创新平台,天津 300387;
2.高技术有机纤维四川省重点实验室,成都 610041;
3.闽江学院功能纤维与材料福建省重点实验室,福州 350108;
4.逢甲大学纤维与复合材料学系纤维应用与制造实验室,台中 40724)

摘 要 为了提高界面结合能力,采用空气等离子体对芳纶纤维表面进行改性,通过扫描电子显微镜观察处理前后纤维表面形貌的变化情况,对纤维力学性能及摩擦性能进行测试,优选出最佳处理工艺。进一步研究了纤维表面改性处理方式对纤维集集体力学性能和防刺性能的影响。结果表明:表面改性后芳纶纤维的摩擦系数增大,但强力有所下降,空气等离子体处理最佳条件为 50Pa、50W 处理 5min。芳纶纤维表面经过等离子体改性后,无纺布锥刺的最大压缩载荷同比未处理样品提高了 5.27%。

关键词 芳纶纤维,表面改性,力学性能,防刺性能

Influence of surface treatment on physical and mechanical properties of aramid fiber

Wang Xiaoxiao¹ Peng Haokai^{1,2*} Zhang Xiaohui¹ Luo Guiming¹ Li Tingting¹
Wang Xuyi² Wu Liwei¹ Jiang Qian¹ Lin Jiahong^{1,3,4}

(1.Innovation Platform of Intelligent and Energy-Saving Textiles,School of Textiles,Tianjin Polytechnic University,Tianjin 300387;2.High-Tech Organic Fibers Key Laboratory of Sichuan Province,Chengdu 610041;3 Fujian Key Laboratory of Novel Functional Fibers and Materials,Minjiang University,Fuzhou 350108;4 Laboratory of Fiber Application and Manufacturing,Department of Fiber and Composite Materials,Feng Chia University,Taichung 40724)

Abstract In order to improve the interfacial bonding ability,aramid fiber surface was modified by air plasma. The surface morphology of fibers was observed by SEM. The mechanical and tribological properties of fibers were tested to find the optimum treatment process. Then the effect of surface modification on the mechanical properties and stab resistance of fiber aggregate was investigated. The results showed that the friction coefficient of fibers was improved and the strength was decreased after surface modification. The optimum conditions of air plasma treatment were 50Pa pressure,50W power and 5min treatment duration. The awl pierce maximum compression load of non-woven fabrics was increased by 5.27% compared to the untreated sample.

Key words aramid fiber, surface modification, mechanical property, stab-resistant property

芳纶是一种新型高科技合成纤维,具有高强度、高模量和耐高温等优异性能^[1-2]。芳纶可以使材料应用向强度更大、质量更轻、性能更优异的方向发展^[3]。芳纶纤维已广泛应用于防护产品、建筑材料和国防军工等领域^[4-5]。然而,由于芳纶纤维表面光滑

滑而且极性基团较少,界面结合力低,从而影响了芳纶纤维复合材料的性能,所以需对其进行表面改性。纤维表面改性方法很多,比如电晕放电、火焰和热处理、化学改性和等离子体处理等^[6-7]。

近年来,个体遭受刺伤事件时有发生,防刺防护

基金项目:高技术四川省重点实验室开放课题基金(PLN2016-07);国家自然科学基金(51503145);天津市 2017 大学生创新创业训练计划项目(20170058110)

作者简介:王晓晓(1991-),男,硕士研究生,主要研究方向为纺织材料。

联系人:彭浩凯。

成为个体防护的重要内容,这也对防刺材料提出了更高的要求,国内外对于芳纶防刺织物的研究还相对较少^[8-9]。本研究根据防刺标准,改进一台防刺性能检测装置,将其安装到万能强力机上,通过对穿刺曲线和数据的研究,进一步探索防刺机理。

本研究利用空气等离子体对芳纶纤维表面进行处理,测试其力学性能和摩擦性能,并且研究表面处理对其非织造布力学性能和防刺性能的影响,并找出最适合的处理条件。在纤维改性的基础上,将纤维改性处理与防刺性能研究结合在一起,研究纤维改性对无纺布防刺性能的影响,对于织物防刺性能研究和防刺机理的探讨有重要意义。

1 实验部分

1.1 材料与仪器

Taparan 芳纶纤维(纤维规格 1.5D×51mm),烟台泰和新材料股份有限公司;丙酮(分析纯),天津市化学试剂三厂;聚丙烯纤维(丙纶纤维规格为 2D×51mm),淄博隆恩纤维有限公司。

等离子体机(PR-3 型),北京创世威纳科技有限公司;真空干燥器(DZF-6020 型),上海博迅实验有限公司;小型和毛机(XFH 型),山东针织机械厂;梳棉机(AS181A 型),上海纺织工学院机械工厂;针刺机(SCZ1150 型),江苏无纺机械厂;扫描电子显微镜(SEM,TM3030 型),日本 HITACHI 公司;单纤维电子强力仪(YG001A 型),江苏太仓纺织仪器厂;纤维摩擦仪(Y151 型),江苏第二纺织机械厂;万能强力机(INSTRON 3369 型),美国 INSTRON 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 等离子体处理

称取 45g 芳纶纤维,用丙酮清洗 30min 后烘干放在真空干燥器中干燥 12h,使丙酮完全挥发。将纤维等分为 10 份,分别置于玻璃试样台上,然后放入等离子体机,实验方案按表 1 进行。

表 1 实验方案

方案	0 [#]	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]
压强/Pa	0	50	50	50	50	50	50	50	50	50
功率/W	0	50	50	50	100	100	100	150	150	150
处理时间/min	0	3	5	7	3	5	7	3	5	7

1.2.2 丙纶/芳纶非织造布制备

取 15g 芳纶纤维与 85g 丙纶纤维,用小型和毛机混合均匀,再将试样均分成两份,梳理两遍,保存备用。取 15g 经等离子体机处理后的芳纶纤维与 85g 丙纶纤维,按上述方法混合和梳理后,密封保存备用。

1.2.3 针刺布制备

将制作好的纤维网用针刺机针刺,速度为 400r/min,纤维网正反面各刺两遍。得到厚度为 3.5mm,单位面积质量为 289.6g/cm² 的针刺布。

1.3 测试方法

利用 SEM 对处理前后的芳纶纤维表面进行观察,加速电压为 5kV,放大倍数为 2500 倍;依据 EN ISO 5079—1995 标准,测试织物断裂强力,夹距距离为 20mm,拉伸速度为 10mm/min;依据 ASTM D5035—06 标准,测试织物拉伸性能,拉伸速度为 200mm/min;依据 ASTM F1342—05 标准,测试织物穿刺性能,速度为 30mm/min。测试试样尺寸见图 1,锥刺形状尺寸见图 2,夹具形状尺寸见图 3。

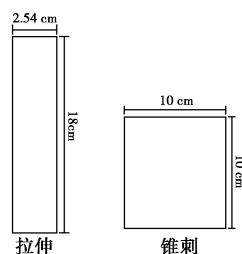


图 1 测试布样尺寸

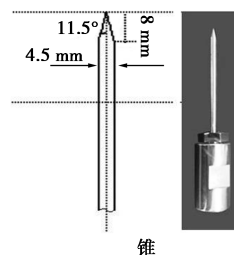


图 2 锥刺几何形状及实物示意图

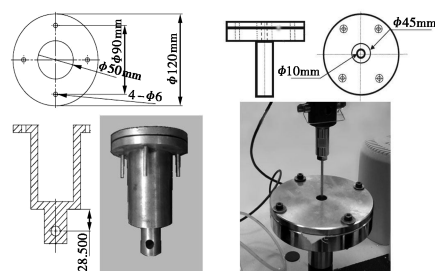


图 3 夹具尺寸及实物示意图

2 结果与讨论

2.1 空气等离子体处理对芳纶纤维性能的影响

2.1.1 SEM 分析

0[#]、1[#]、2[#]、3[#]、4[#]、6[#]、7[#]和 9[#] 芳纶纤维的表面 SEM 图见图 4。由图可知,未处理的芳纶纤维表面比较光滑,经过空气等离子处理后纤维表面粗糙程度增加。在处理过程中,等离子体对纤维表面进

行刻蚀,改变了纤维表面的形貌。主要原因是:在电场作用下,等离子体中的电子、离子等高能粒子高速撞击纤维表面导致溅射刻蚀,由于侵蚀纤维晶体和非晶体部分的速率不相同,因此纤维表面会形成凹凸结构;等离子体中的活性粒子与纤维表面的某些基团反应,被溅射出的物质分解后受到等离子体的激励后逆扩散到纤维表面,使纤维表面形成大量不规则的凸起与凹陷^[10-14]。随着等离子体处理时间和功率的增加,芳纶纤维表面的沟槽变深,表面的剥离现象和凹凸起伏程度越来越明显。在 50Pa、50W、5min 的条件下,芳纶纤维表面有一定刻蚀,但未出现大面积表层剥离现象。

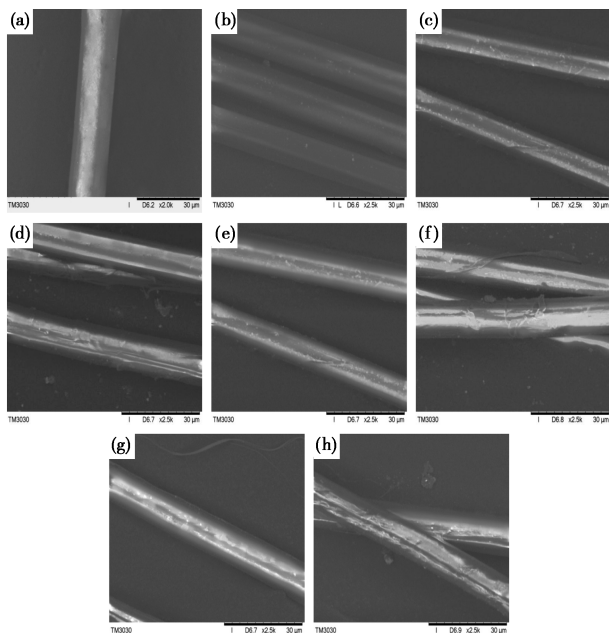


图 4 0[#](a)、1[#](b)、2[#](c)、3[#](d)、4[#](e)、6[#](f)、7[#](g)和 9[#](h)芳纶纤维的表面 SEM 图

2.1.2 空气等离子体处理对芳纶纤维断裂强力的影响

不同处理条件对芳纶纤维断裂强力的影响见图 5。由图可知,随着处理时间及处理功率的增大,芳纶纤维断裂强力逐渐下降。0[#]芳纶纤维的断裂强力为 24.2cN,2[#]和 3[#]芳纶纤维的断裂强度分别为 22.7 和 20.8cN,相比 0[#]芳纶纤维分别下降了 6.20%和 14.05%。0[#]芳纶纤维的表面比较光滑,纤维无损伤,强力最大,而经过等离子体处理,芳纶纤维表面出现了不同程度的凹槽、裂纹,这些地方相对较脆弱,导致芳纶纤维强力变低^[15-16]。在 50Pa、100W 或 50Pa、150W 的处理条件下,芳纶纤维的断裂强力下降幅度均较大,所以应选择空气等离子体功率为 50W,处理时间控制在 5min 之内,能很好地

保持芳纶纤维的断裂强力。

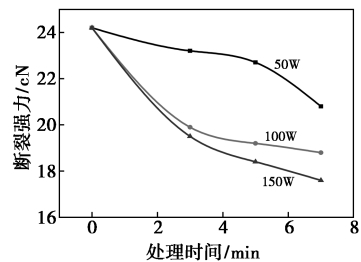


图 5 不同处理条件对芳纶纤维断裂强力的影响

2.1.3 空气等离子体处理对芳纶纤维摩擦性能的影响

空气等离子体处理对芳纶纤维摩擦性能影响见图 6。由图可知,经过空气等离子体处理芳纶纤维,其静、动摩擦系数都有所增加。当功率为 50W 时,随着处理时间的延长,芳纶纤维的动、静摩擦系数呈逐渐上升趋势。当处理功率为 100W 时,随着处理时间的延长,芳纶纤维的动静摩擦系数呈先增后减的趋势,当处理时间为 5min 时,其动、静摩擦系数均达到最大,分别为 0.421 和 0.473。由于处理功率越大对芳纶纤维自身损伤越大,芳纶纤维表面起初形成的凸起随着处理时间的延长被刻蚀掉,其表面摩擦系数开始下降。

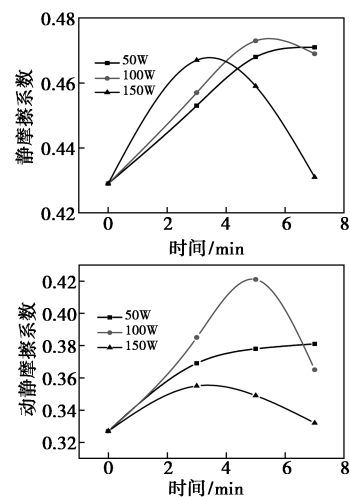


图 6 空气等离子体处理对芳纶纤维摩擦性能的影响

[(a)静摩擦系数;(b)动摩擦系数]

综上,在 50Pa、50W、5min 的空气等离子体处理条件下,即 2[#]芳纶纤维在保持断裂强力的同时可以获得良好的摩擦性能。

2.2 空气等离子体对丙纶/芳纶无纺布力学和防刺性能的影响

空气等离子体对丙纶/芳纶无纺布力学和防刺性能的影响见表 2。由表可知,经空气等离子体处

理后, 15% 2# 芳纶纤维的最大拉伸载荷为 585.48N, 比 0# 芳纶纤维提高了 40.13%; 弹性模量为 40.15MPa, 与 0# 芳纶纤维提高了 46.08%; 断裂伸长率为 349%, 比 0# 芳纶纤维提高了 7.38%; 最大压缩载荷为 83.34N, 比 0# 芳纶纤维提高了 5.27%。

表 2 空气等离子体对丙纶/芳纶无纺布力学和防刺性能的影响

试样	0#	2#
最大拉伸载荷/N	417.80	585.48
断裂伸长率/%	325	349
最大拉伸载荷时的拉伸位移/mm	59.93	65.13
弹性模量/MPa	40.15	58.65
最大压缩载荷/N	79.17	83.34

实验发现, 丙纶/芳纶无纺布小孔周围有少量纤维断裂, 大部分纤维被挤向小孔四周但并未断裂。锥刺过程中, 当锥体接触到布面纤维时, 锥体所受到的力随着位移增加而增大, 当锥体刺断周围部分纤维时, 受力会急剧下降^[17-18]。等离子处理前段有个受力突变的过程就是由锥尖将部分纤维刺断引起的, 刺断纤维后锥尖周围的纤维不断地汇聚补充, 此时锥体受力上升而且会出现小范围的波动。如此反复进行直到整个锥头穿过织物, 载荷会急剧下降, 由于纤维的摩擦作用, 载荷并不会降到零^[19-22]。

3 结论

针对芳纶纤维存在的问题, 采用空气等离子体处理的方法进行纤维表面进行改性研究, 优选出纤维表面改性的最佳处理条件, 之后将等离子体处理的纤维制成无纺布, 对无纺布进行力学和防刺性能测试, 从而分析表面处理对纤维集集体力学和防刺性能的影响。

(1) 利用空气等离子体对芳纶纤维表面改性, 经过对芳纶纤维断裂强力和摩擦性能测试得出的最佳处理条件为 50Pa、50W、5min。

(2) 经过等离子体处理的试样, 无纺布的力学性能和防刺性能都有所提高, 最大拉伸载荷同比未处理样品提高了 40.13%, 锥刺的最大压缩载荷比未处理样品提高了 5.27%。

参考文献

[1] Yu R, Wang C, Qiu Y. Influence of aramid fiber moisture regain during atmospheric plasma treatment on aging of treatment effects on surface wettability and bonding strength to epoxy[J]. Applied Surface Science, 2007, 253(23): 9283-9289.

[2] 高臣, 晏泓, 许并社. 新型高科技纤维研究进展[J]. 太原理工大学学报, 2009, 40(6): 573-577.

[3] Patterson B A, Sodano H A. Enhanced interfacial strength and UV shielding of aramid fiber composites through ZnO nanoparticle sizing[J]. Acs Applied Materials & Interfaces, 2016, 8(49): 33963-33971.

[4] Demir A, Bozaci E, Gülümser T, et al. An ecological approach for the surface modification of aramid fibers[J]. Tekstil Ve Konfeksiyon, 2016, 26(3): 256-261.

[5] Li Z, Cheng X, He S, et al. Aramid fibers reinforced silica aerogel composites with low thermal conductivity and improved mechanical performance[J]. Composites Part A: Applied Science & Manufacturing, 2016, 84(3): 316-325.

[6] 饶岫, 防弹与防刺纺织材料研究进展[J]. 中原工学院报, 2012, 23(1): 67-69.

[7] Nair K C M, Thomas S. Effect of interface modification on the mechanical properties of polystyrene-sisal fiber composites[J]. Polymer Composites, 2010, 24(3): 332-343.

[8] 严志云, 刘安华, 贾德民. 芳纶纤维的表面处理及其在橡胶工业中的应用[J]. 橡胶工业, 2004, 51(1): 56-60.

[9] 路向辉. 芳纶纤维表面处理技术的发展概况[J]. 塑料工业, 2007, 35(Z1): 84-86.

[10] 严志云, 石虹桥, 刘安华, 等. 空气等离子体处理芳纶纤维及其与天然橡胶/乳聚丁苯橡胶的黏合性能[J]. 合成橡胶工业, 2007, 30(3): 200-204.

[11] Xu Zhiwei, Chen Li, Huang Yudong, et al. Wettability of carbon fibers modified by acrylic acid and interface properties of carbon fiber/epoxy[J]. European Polymer Journal, 2008, 44(2): 494-503.

[12] Park S J, Seo M K, Ma T J, et al. Effect of chemical treatment of Kevlar fibers on mechanical interfacial properties of composites[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2002, 252(1): 249-255.

[13] Valadez-Gonzalez A, Cervantes-Uc J M, Olayo R, et al. Effect of fiber surface treatment on the fiber-matrix bond strength of natural fiber reinforced composites[J]. Composites Part B: Engineering, 1999, 30: 309-320.

[14] 宋翠艳, 宋西全, 邓召良. 间位芳纶的技术现状和发展方向[J]. 纺织学报, 2012, 33(6): 125-128.

[15] 秦伟, 张志谦, 黄玉东, 等. 冷等离子体处理对 PET 纤维/环氧复合材料界面改性的研究[J]. 复合材料学报, 2002, 19(4): 25-28.

[16] 王杨, 李鹏, 于运花, 等. 芳纶纤维的磷酸表面处理及其树脂基复合材料界面性能[J]. 复合材料学报, 2007, 24(3): 7-12.

[17] 贺泓, 孙慕瑾. 芳纶纤维的表面改性[J]. 复合材料学报, 1990, 7(3): 17-25.

[18] 凌新龙, 周艳, 黄继伟, 等. 芳纶纤维表面改性研究进展[J]. 天津工业大学学报, 2011, 30(3): 11-18.

[19] 鲁贻梅, 王慧, 吕亚非. 化学和物理方法处理大麻纤维的研究[J]. 北京化工大学学报自然科学版, 2009, 36(5): 52-55.

[20] 赵梓年, 王立多. 天然纤维复合材料中化学方法处理纤维的进展[J]. 塑料, 2009, 38(1): 35-37.

[21] 罗珺, 谢光银, 郭双庆. 芳纶的酸处理研究与性能测试[J]. 合成纤维工业, 2011, 34(1): 40-42.

[22] 贾志刚, 王玉林, 万怡灶. 磷酸处理对三维编织芳纶纤维/双马来酞亚胺力学性能的影响[J]. 玻璃钢/复合材料, 2004(6): 20-21.

收稿日期: 2017-03-24