

冷等离子体改性芳纶及其复合材料导热系数研究

熊思怡, 张美玲, 沈忆文, 荣梅, 方桂琼

(天津工业大学 纺织学院, 天津 300387)

摘要: 为研究芳纶复合材料的隔热性能,探索芳纶作为复合材料在防护领域的应用,对芳纶织物进行冷等离子体改性后涂覆不同含量的环氧树脂,并测试其导热系数。结果表明:经过冷等离子体处理后,纤维表面变得粗糙,导热系数相对较低;随着涂层树脂含量的增加,导热系数减小,隔热性能增强;与未处理的材料相比,经冷等离子体处理和环氧树脂涂层后,芳纶复合材料导热系数较小,隔热性能较强,说明等离子体刻蚀增强了芳纶与树脂基体的接触面积和结合力,更有利于提高复合材料的隔热性能。

关键词: 芳纶; 导热性; 等离子体; 树脂整理; 涂层整理

中图分类号: TS156

文献标识码: B

文章编号: 1001-2044(2019)02-0015-03

Thermal conductivity of aramid fiber modified by cold plasma as composites

XIONG Siyi, ZHANG Meiling, SHEN Yiwen, RONG Mei, FANG Guiqiong

(School of Textile, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

Abstract: In order to study the thermal insulation property of aramid composites and explore their applications in various fields, the aramid fabrics are modified by cold plasma and coated with different content of epoxy resin, using hot disk thermal constant analyzer to test the thermal conductivity of the materials. The results show that the surface of the fiber treated by cold plasma becomes coarse, and the thermal conductivity is relatively low. The smaller the thermal conductivity is, the better the thermal insulation property is. Compared with untreated materials, the aramid composites coated with cold plasma and epoxy resin have lower thermal conductivity and better thermal insulation. It is proved that the contact area and bonding force between aramid fiber and resin matrix are enhanced by plasma etching, which is more advantageous to the improvement of composite properties.

Key words: aromatic polyamide fiber; thermal conductivity; plasma; resin finishing; coating finish

DOI:10.16549/j.cnki.issn.1001-2044.2019.02.004

芳纶是一种新型合成纤维,具有高强度、高模量、耐高温和耐酸耐碱等优良性能^[1],已广泛应用于建筑、航空航天、交通、电子与通信等领域。目前,高温环境造成的安全隐患引起了人们的广泛关注,由于芳纶^[2-3]具有良好的阻燃性,本文选用芳纶织物为研究对象,将其制备成复合材料,探索其在防护领域的应用。通过选用不同含量环氧树脂^[4]对芳纶织物进行涂层处理,优化芳纶织物的隔热性能。芳纶表面光滑、润湿性较差,树脂不能很好地浸润纤维,影响了芳纶增强复合材料的应用,所以采用冷等离子体改性技术对织物表面进行改性处理,增加纤维表面的活性基团,促进纤维与树脂基体的界面结合^[5-6]。最后讨论冷等离子体处理前后和涂层不同含量的树脂后,样品导热系数的差异。

1 试验部分

1.1 材料与仪器

收稿日期: 2018-02-12

基金项目: 天津市大学生创新训练项目(201710058084)

作者简介: 熊思怡(1997—),女,本科在读,主要从事纺织材料与纺织品设计方面的研究。

通信作者: 张美玲。E-mail: zhangmeiling@tjpu.edu.cn。

试验材料: 芳纶基布(北京维仕锦润纺织有限公司),经纬纱为芳纶和导电纤维混纺纱,细度 37 tex,织物组织为平纹+三立格,面密度 244.1 g/m²,经密 366 根/10 cm,纬密 278 根/10 cm;环氧树脂与固化剂(江苏省昆山市绿循化工商行)的配比为 10:3。

试验仪器: HD-1A 型冷等离子体改性处理仪(常州中科常泰等离子体科技有限公司)、LTE-S 型涂层机(Werner Mathis AG 公司)、TPS1500 型热常数分析仪(瑞典 Hot Disk 公司)、ZEISS Gemini SEM 500 型热场发射扫描电子显微镜(SEM, ZEISS 公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 冷等离子体处理

将 5 cm×5 cm 的芳纶织物样品放置于冷等离子体反应室内,抽真空,待反应室内真空度达到 3 Pa 以下时,填充氮气,调节气流针阀,将气压控制在 60~80 Pa。设定功率为 150 W,处理时间为 120 s。

1.2.2 树脂涂层

将冷等离子体处理前后的织物样品分别夹在布撑上,并保持一定的张力,使基布处于绷平状态;接着将压辊放在槽内,再固定好刮刀,使用塞尺确定具体隔距,用以代表涂层厚度;将环氧树脂与固化剂以 10:3

的配比加热混合并搅拌均匀后,涂在刮刀前面的基布上,并反复推动刮刀手柄;最后将涂层后的样品送入烘箱,待焙烘完成后,将样品取出、保存。

1.3 测试方法

1.3.1 表面形貌

剪取尺寸为 5 cm×5 cm 的样品附在导电胶上,对样品进行喷金处理,采用 SEM 观察冷等离子体处理前后纤维表面微观形貌的变化以及与树脂的黏结情况。

1.3.2 导热系数

采用瑞典 Hot Disk 公司提供的 TPS1500 型热常数分析仪测试样品的导热系数,以此来衡量材料的隔热性能。根据 ISO22007—2.2 的要求进行测试,测试环境为:温度(20±2)℃,相对湿度(50±10)%,测试功率从 1 mw,时间从 1 s 开始预选(以防损坏探头)。导热系数最高为 10 W/mK;温升为 0.3~4 K,1 K 左右最佳;特征时间为 0.3~1 s;平均偏差 10⁻³以下。根据样品厚度,选择 7577 型号自加热的温度探头。

2 结果与讨论

2.1 织物样品冷等离子处理前后的分析

2.1.1 形貌变化

处理前后芳纶的表面形貌图见图 1。

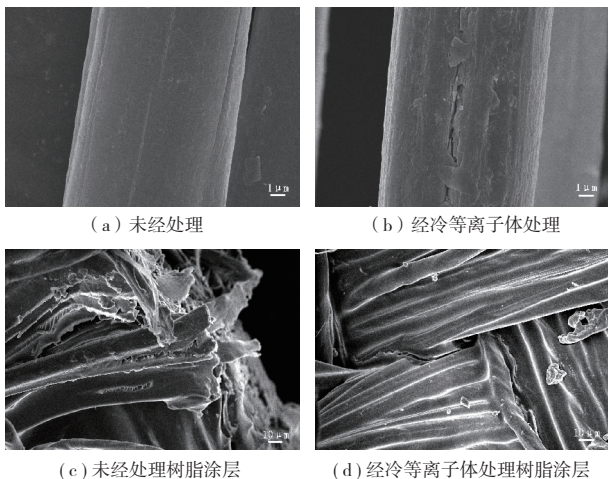


图 1 处理前后芳纶的表面形貌图

如图 1(a)所示,未处理的纤维表面光滑,有一些轴向条纹;图 1(b)中的纤维表面凹凸不平,这是由于活性粒子轰击芳纶表面,对其产生了很强的刻蚀作用,导致其粗糙度增加;图 1(c)中的纤维与树脂黏结处存在裂缝,黏结不够紧密;图 1(d)中的改性后样品与树脂黏结处相对均匀平整,说明改性后纤维与树脂的黏结强度更高。这是因为冷等离子体处理增加了树脂浸润纤维的表面积,从而为纤维表面与环氧树脂基体之

间的强相互作用提供了条件。

2.1.2 导热系数的分析

冷等离子体处理前后芳纶织物的导热系数分别为 0.1197、0.1182 W/mK,可见经冷等离子处理后芳纶织物的热传导性有所下降但降低幅度不大。这是因为织物是由纤维材料和空气组合起来的一种非均匀物质,热传导是由这两种具有不同导热能力的物质共同进行的^[7]。由于放样装置中的外界压力会排除织物中的空气,所以空气的热传导忽略不计。未经处理的纤维表面光滑,有利于热量的传递;而经冷等离子体处理后的纤维表面变得粗糙。经研究发现^[8],声子在粗糙表面会加强散射,所以两者相比,冷等离子体处理后的导热系数相对较低。

2.2 复合材料导热系数的分析

2.2.1 涂覆环氧树脂后的导热系数

未经处理的织物样品涂覆不同含量的环氧树脂后的导热系数见表 1。

表 1 未经处理仅涂覆环氧树脂后芳纶样品的导热系数

编号	单位涂覆量/(g·m ⁻²)	导热系数/(W·mK ⁻¹)
A1	104	0.122 58
A2	140	0.118 16
A3	176	0.098 50
A4	207	0.088 48
A5	262	0.084 36

由表 1 可见,树脂含量越高,样品的导热系数越小,隔热性能越强。

经过冷等离子体处理后,再经过涂覆不同含量的环氧树脂处理后样品的导热系数见表 2。

表 2 经冷等离子体处理和涂覆树脂后芳纶样品的导热系数

编号	单位涂覆量/(g·m ⁻²)	导热系数/(W·mK ⁻¹)
B1	109	0.088 94
B2	144	0.076 89
B3	165	0.064 27
B4	194	0.058 55
B5	264	0.055 32

由表 2 可见,样品经过等离子体处理之后,再涂覆环氧树脂,其导热系数随着树脂涂覆量的增加而减小,样品的隔热性能逐渐增强。

2.2.2 综合分析

图 2 为冷等离子体处理前后芳纶/环氧树脂的导热系数对比图。可见,虽然处理前后试样对应的单位涂覆量并不相同,但两条曲线的变化趋势是大体一致

的,随着树脂涂覆量的增加,导热系数呈下降趋势。这是因为随着树脂涂覆量的增加,织物之间形成了导热通路,有利于声子的传输导热。最初在树脂量较少的状态下热流沿热阻很小的织物通过;随着树脂量的增加,热流需要通过黏结更为紧密的界面,声子散射的能力减弱,因此复合材料的导热系数呈下降趋势;当树脂量达到 200 g/m^2 后,下降趋势逐渐平缓,这是由于织物被导热系数较低的环氧树脂包围起来,处于隔离状态,此时复合材料的导热系数基本取决于树脂的导热状态,所以导热系数变化较小^[9]。

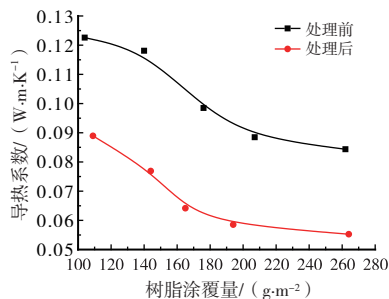


图2 冷等离子体处理前后芳纶/环氧树脂复合材料的导热系数对比图

导热是由温度不同的质点在热运动中引起的热传递现象。理论上,固体材料的导热系数远大于空气的导热系数,当固体与空气结合组成多孔材料时,导热系数必然会降低。这可能是复合材料具有较高隔热性能的原因^[10]。但复合材料的隔热性能并不随树脂量增大而同步变大,当达到饱和值后,树脂涂覆量增大仅仅增加材料的厚度和质量,并不能有效改善其隔热性能。图2也显示在树脂含量相近的情况下,等离子体处理后的复合材料隔热性能更佳。因此可以得出结论:对织物进行冷等离子体处理可以有效降低复合材料的导热系数,有利于此类材料在防护领域的应用^[11-12]。

3 结 语

(1)树脂涂覆量的不同以及冷等离子体处理会影响织物的导热系数。经冷等离子体处理后的芳纶织物,随着树脂单位涂覆量的增加,导热系数减小,隔热

性能增强。

(2)冷等离子体处理降低了树脂的使用量。经等离子体处理后,芳纶表面有明显的凸起和沟槽,纤维表面粗糙度明显增加,能更好地与环氧树脂基体结合,更适合用作复合增强材料。

(3)在树脂单位涂覆量接近的情况下,经冷等离子体处理后的样品较未处理仅涂覆树脂的样品的导热系数更低,说明冷等离子体处理后的复合材料具有相对优异的隔热性能。



参考文献:

- [1] 贾亚楠.消防服隔热层的产品设计及工艺性能研究[D].上海:东华大学,2016.
- [2] 孔海娟,张蕊,周建军,等.芳纶纤维的研究现状与进展[J].中国材料进展,2013(11):676-684.
- [3] 张生辉.芳纶在阻燃防护服中的应用及检测[J].中国个体防护装备,2014(1):37-40.
- [4] DELANGE P J, MÄDER E, MAI K, et al. Characterization and micro-mechanical testing of the interphase of aramid-reinforced epoxy composites[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2001, 32(3): 331-342.
- [5] 凌新龙,郭立富,林海涛.芳纶纤维的改性研究新进展[J].天津工业大学学报,2016,35(4):10-27.
- [6] 李铨喆,李爽,荣怀苹,等.低温氢气等离子体对芳纶表面的改性[J].合成纤维,2013(3):12-15.
- [7] 吴海军,钱坤,曹海建.织物结构参数对热传递性能的影响[J].纺织学报,2007,28(2):21-23.
- [8] 陈伟宇,刘晨晗,陶毅,等.声子聚焦效应对薄膜间接触热阻尺寸效应的影响[J].东南大学学报(自然科学版),2016,46(6):1155-1160.
- [9] 赵广辉,周柳,熊传溪.环氧树脂/改性 AIN 导热绝缘复合材料的制备与性能研究[J].工程塑料应用,2009,37(7):15-18.
- [10] MOUNIKA M, RAMANIAH K, PRASAD A R R, et al. Thermal conductivity characterization of bamboo fiber reinforced polyester composite[J]. Apmis, 2012, 88C(1-6): 163-172.
- [11] NEMATOLLAHI B, RANADE R, SANJAYAN J, et al. Thermal and mechanical properties of sustainable lightweight strain hardening geopolymer composites[J]. Archives of Civil & Mechanical Engineering, 2017, 17(1): 55-64.
- [12] 程卫华,李晓云.热压烧结 AIN-TiB₂ 复合材料导热性能的研究[J].有色金属(冶炼部分),2011(8):40-42.

欢迎征订《纺织检测与标准》

E-mail: fzjcybz@163.com

联系电话:021-55210011-376