

针刺层间增强非织造防刺包装材料的机械及防刺性能研究

闫梦雪¹ 李婷婷^{1,2*} 吕一丹³ 吴利伟¹ 姜 茜¹ 彭浩凯^{1,4} 林佳弘^{1,5}

- (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.福建省新型功能性纺织纤维及材料重点实验室(闽江学院),福州 350108;
3.天祥(天津)质量技术服务有限公司,天津 300110;
4.高技术有机纤维四川省重点实验室,成都 610041;
5.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 为开发出低成本柔软且防刺性能良好的包装材料,选用芳纶、尼龙 6(PA6)和聚丙烯(PP)短纤维通过层间增强方式构建由表层为 PP/PA6/芳纶、中间层为 PA6 和底层为 PP/PA6 非织布组成的非织造三明治防刺叠层材料。探讨了改变表层芳纶纤维含量对三明治非织造叠层包装复合材料的拉伸性能、防刀刺和防锥刺性能的影响。结果表明:非织造包装复合材料的拉伸性能、防刀刺及防锥刺性能随表层芳纶含量的增加而呈线性增加;当芳纶含量为 15%(质量分数)时,非织布基布具有最大拉伸载荷、防刀刺和防锥刺载荷,分别为 209.24、83.52 和 126.85N。刀刺与锥刺的防刺机理不同,刀刺为纤维排挤和断裂,锥刺为纤维排挤。

关键词 非织布,防护材料,结构设计,拉伸性能,防刺性能

Study on the mechanical and stab resistant property of acupuncture interlayer reinforced nonwoven packaging material

Yan Mengxue¹ Li Tingting^{1,2} Lv Yidan³ Wu Liwei¹ Jiang Qian¹
Peng Haokai^{1,4} Lin Jiahong^{1,5}

- (1.School of Textiles,Tianjin Polytechnic University,Tianjin 300387;2.Fujian Key Laboratory of Novel Functional Fibers and Materials(Minjiang University),Fuzhou 350108;
3.Intertek (Tianjin) Quality and Technology Service Co.,Ltd.,Tianjin 300110;
4.High-Tech Organic Fibers Key Laboratory of Sichuan Province,Chengdu 610041;
5.Laboratory of Fiber Application and Manufacturing,Department of Fiber and Composite Materials,Feng Chia University,Taichung 40724)

Abstract To investigate flexible,low-cost and well stab-resisting packaging material,the aramid fiber and nylon (PA6) and polypropylene (PP) staple fiber were employed to design nonwoven sandwich laminated anti-stabbing material which was composed of PP/PA6/aramid non-woven as surface layer,PA6 as middle layer,and PP/PA6 as bottom layer by interlayer reinforcing method.The tensile property and stab resistance of composite were investigated by changing the content of surface aramid fibers.The results showed that the tensile property and stab resistance increased linearly with the increase of surface aramid content.When the aramid content was 15%,the nonwoven fabric had the highest tensile load,knife-resistant and spike-resistant load,209.24N,83.52N and 126.85N respectively.The tensile and stab resistance increased linearly with the increasing of layer number,and the material achieved the best mechanical and stab protection when the layer number was three.Knife and spike resistance had different mechanism.Fiber fracture and fiber pushing were the mechanism for knife resistance and fiber pushing was for the spike resistance.

Key words nonwoven,protective material,structure design,tensile property,stab resistant

基金项目:国家自然科学基金青年基金(51503145、11702187 和 11502163);高技术有机纤维四川省重点实验室开放课题基金(PLN2016-07);福建省新型功能性纺织纤维及材料重点实验室闽江学院开放基金(FKLTFM 1704、1718 和 1722)

作者简介:闫梦雪(1993-),女,硕士研究生,主要研究方向为功能非织造材料。

联系人:李婷婷(1985-),女,讲师,硕士研究生导师。

随着现代物流的迅猛发展,在包装运输过程中受冲击、震动、倾翻和滚动会使包装件或包装容器受到尖锐器具的碰撞和破坏。为确保产品免受破坏和方便运输装卸,包装材料应具有一定的强度和防刺性能,并具有质轻柔软的特点^[1-4]。目前常用的是高性能纤维,有高强尼龙纤维、陶瓷纤维、碳纤维和聚酯纤维等,使用最多的为芳纶和超高分子量聚乙烯纤维^[5-8]。其中,对位芳纶纤维因其具有高强度、高模量和低密度等特性在防护领域具有广泛的应用^[9]。目前包装防护材料多为机织、针织和非织造结构及多轴向经编结构^[10-12]。而非织造已成为传统纺织技术以外手段最多的工艺,且灵活多变,可按产品性能要求进行工程化设计,也是生产率极高的新型纤维材料加工技术^[13]。非织造加工技术包括针刺、热粘合和化学粘合等工艺,在装饰、过滤、卫生、保暖和包装等产品市场上有较好的发展潜力,而针刺工艺与其他工艺相比具有工艺流程短、生产效率高的优点,适合各种纤维加工,且机械缠结后不影响纤维原有的特征,纤维之间可实现柔性缠结,具有较好的尺寸稳定性和弹性^[14-18]。尽管众多研究者在研究剪切增稠流体流变性能及其在冲击、防刺方面的应用^[19-21],但含浸复合织物的低速穿刺效果提升不明显且刚性提高,因此不适合用于包装材料。因此,本研究以非织造层间增强工艺,通过结构设计在织物厚度方向形成纵向连接,在保持材料原有柔软性的基础上提高包装材料的防刺性能,以非织布三明治结构形成兼具缓冲和防刺性能的防护层。非织布材料三层结构由纤维梳理成网再经针刺复合加工而成;第一层为聚丙烯(PP)/尼龙 6(PA6)/芳纶,第二层为 PA6,第三层为 PP/PA6。通过对第一层中芳纶含量的改变,对三明治结构非织造防护材料的机械性能进行测试研究,找到最佳的包装防护材料结构和加工参数。利用高性能纤维的结构设计,来提高材料的防护性能。

1 实验部分

1.1 原料

芳纶纤维(规格为 1.5D51mm),烟台泰和新材料股份有限公司;尼龙 6 纤维(PA6,又称锦纶,规格为 3D51mm),浙江金老鼠化纤有限公司;聚丙烯纤维(PP,规格为 2D51mm),淄博隆恩纤维有限公司。

1.2 三明治结构非织防护材料的制备

非织布的三明治结构由 PA6、PP 和芳纶纤维经开松、混合、梳理、铺网(垂直交叉铺网)和针刺等制造过程复合而成。上层为 PP/PA6/芳纶,中间层为 PA6,下层为 PP/PA6。通过改变上层中芳纶的含量(总含量一定),对三明治结构非织布的拉伸、防刀刺和防锥刺性能进行研究。其中,芳纶含量分别为 0%(wt,质量分数,下同)、5%、10%和 15%,上层厚度分别为 4.21、4.84、4.87 和 4.94mm,中间层厚度为 6.45mm,下层厚度为 5.88mm。含有 15%芳纶的非织布的单位面积质量为 439g/m²。非织布三明治结构的组成见表 1,非织布结构图见图 1。

表 1 三明治结构非织造复合材料纤维组成及层数

表层	中间层	中间层 层数	底层
30% PP/70% PA6	100% PA6	1	30% PP/70% PA6
25% PP/70% PA6/5%芳纶	100% PA6	1	30% PP/70% PA6
20% PP/70% PA6/10%芳纶	100% PA6	1	30% PP/70% PA6
15% PP/70% PA6/15%芳纶	100% PA6	1	30% PP/70% PA6

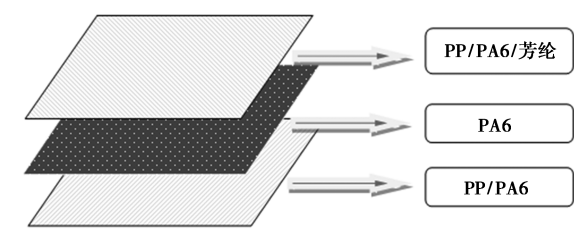


图 1 非织布结构图

1.3 拉伸性能测试

依据标准 ASTM D5035—06 用万能强力机(INSTRON 型)对所设计的非织布进行力学性能测试。每个试样平均测试 3 次,取平均值。测试过程温度为 18℃,相对湿度为 50%,试样规格为 180mm×25.4mm(长×宽),拉伸速度为 200mm/min,夹持长度为 76mm。

1.4 防刺性能测试

依据标准 ASTM F 1342—05 用万能强力机(INSTRON 3369 型)对非织布进行防刀刺性能和防锥刺性能测试,将万能强力机上部分夹头换成自制的穿刺刀具和锥具,其形状尺寸见图 2。将下放夹头换成自制的夹具,形状尺寸见图 3。每个试样测试 3 次,取平均值。压缩速度为 30mm/min,压缩位移为 7cm。

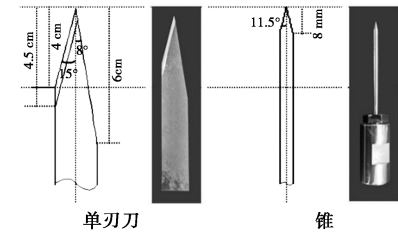


图 2 刀具几何形状及实物示意图

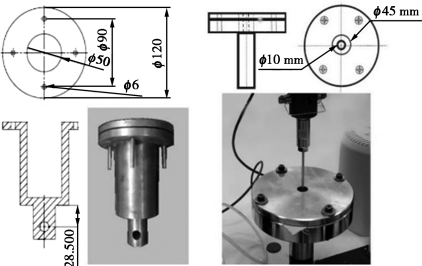


图 3 夹具尺寸及实物示意图

2 结果与讨论

2.1 芳纶含量对包装复合材料拉伸性能的影响

芳纶含量对包装复合材料拉伸性能影响见图 4。由图 4(a)可知,当表层非织布含量变化时,包装复合材料的拉伸曲线形状均一致。随着位移增加,拉伸载荷呈非线性增加;当达到一定位移时,再呈线性增加,一直到最大拉伸载荷,即先呈现粘弹性变形,后呈现弹性变形。这是因为随着拉伸位移的增加,针刺纠缠纤维先被拉长;当达到一定长度,复合材料完全被拉直;之后随着拉伸位移增加,非织造针刺结构被完全破坏,从而达到最大拉伸强力^[22-27]。

由图 4(b)可知,随着芳纶含量的增加,最大拉伸载荷(Y)和表层芳纶含量(X)呈线性相关关系(式 1),其相关度为 97.0%。

$$Y = 38.93X + 60.28 \quad (1)$$

由图 4(b)还可知,随着芳纶含量的增加,断裂伸长率增加。当芳纶含量为 15%时,包装复合材料的载荷量达到最大,为 209.24N,是芳纶含量为 0 时的 44.6%,其断裂伸长率为 193.6%。这是由于芳

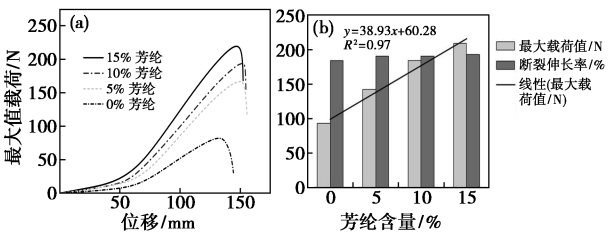


图 4 芳纶含量对包装复合材料拉伸性能的影响
[(a)载荷位移曲线;(b)线性关系]

纶纤维强度远高于 PA6 纤维和 PP 纤维;在相同质量下,随着芳纶纤维含量的增加,总纤维根数增加,使得纤维之间的接触数目和接触总面积增加,纤维间的抱合力增加,非织布强度增加^[9]。

2.2 芳纶含量对包装复合材料防刺性能的影响

2.2.1 防刀刺性能分析

包装复合材料的单刃刀刺破裂情况见图 5。由图可知,破口处形状近似于刀具形状,虽然织物被刺穿,但破口周围并没有出现明显的破坏情况,这说明复合材料具有很好的抗剪切性。包装复合材料的抗刀刺曲线见图 6。由图可知,刀刺曲线波动较多,有刀刃一面对复合材料主要以垂直面的剪切作用为主,无刀刃的一面以排挤作用为主,纤维排挤成一圈^[10]。整个刀刺过程可以分为:(1)刀尖接触织物时,纤维开始弯曲绷紧,随刀具慢慢深入,织物的抗剪切性能使刀具受力不断增大;(2)刀尖将纤维刺断时,受力突然减小,出现第一次波动,出现裂口;(3)刀尖继续深入又会受到纤维阻挡,反复进行几次,刀具越深入,裂口越大,刀具周围纤维不断汇聚补充;(4)裂口宽度可以使刀具穿过时,织物被刺穿,刀具受力急剧下降,但同由于摩擦力并不会降为零。

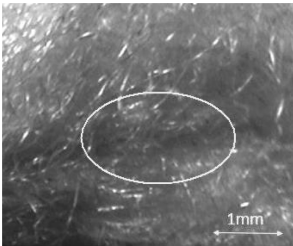


图 5 含 15%芳纶包装复合材料的单刃刀刺破裂情况图

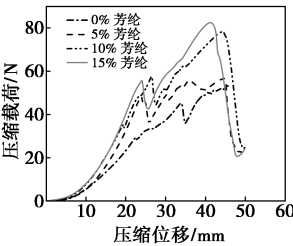


图 6 包装复合材料的抗刀刺曲线图

由图 6 还可知,随着芳纶含量的增加,刀刺压缩载荷不断变大。当芳纶含量为 15%时,包装复合材料具有最大抗刀刺能力,此时最大载荷为 83.52N。这由于单刃刀对织物既有排挤也有剪切作用,说明高性能纤维的增加,在一定程度上改变了非织布的性能。

2.2.2 防锥刺性能分析

包装复合材料的锥刺破裂情况见图 7。由图可

知,锥刺过程中锥体的穿刺头将非织布的纤维通过挤压和摩擦作用将纤维排开,且会有部分纤维发生断裂。经穿刺破坏后,由于穿刺产生动能会使得纤维发生左右移动,纵向被拉伸使得复合材料的纤维断裂,且破坏面边缘发生严重卷曲。

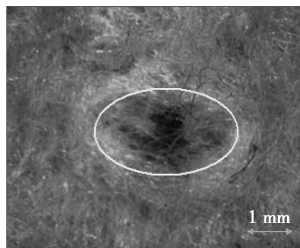


图 7 含 15% 芳纶包装复合材料的锥刺破坏情况图

包装复合材料的抗穿刺曲线见图 8。由图可知,随着芳纶含量的增加,锥刺压缩载荷也不断变大。当芳纶含量为 15% 时,包装复合材料具有最大锥刺载荷,为 126.85N。这由于穿刺头易因芳纶纤维的抗剪切作用而发生钝化现象,所以随着芳纶含量的增加,非织布表面抗剪切作用不断加强。

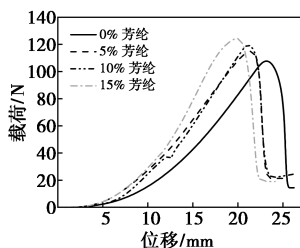


图 8 包装复合材料的抗锥刺曲线图

对比分析包装复合材料的防刀刺和锥刺性能,结果见图 9。由图可知,与刀刺相比,芳纶含量的增加对锥刺性能的影响小。这是因为刀刺的主要影响因素是纤维的强度,而锥刺的主要影响因素是纤维的密集程度。

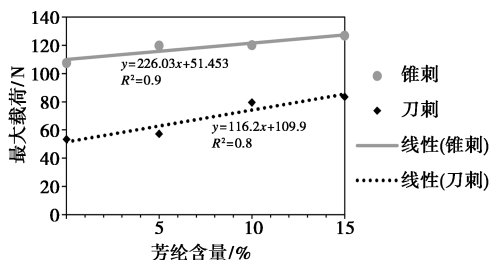


图 9 包装复合材料的刀刺和锥刺性能对比图

3 结论

对 PP、PA6 和芳纶 3 种原料的纤维网进行一定的结构设计,制备出 PP/PA6/芳纶针刺包装复合材

料,并探讨了芳纶含量对非织布包装复合材料拉伸性能、防刀刺和防锥刺性能的影响,结论如下:

(1)芳纶含量的改变对复合织物的防刺性能有显著影响。随着芳纶含量的增加,复合材料表面的抗剪切性能增加,其拉伸、防刀刺和锥刺性能呈线性增加。

(2)当芳纶含量为 15% 时,包装复合材料最大拉伸载荷为 209.24N,最大防刀刺载荷为 83.52N,最大防锥刺载荷为 126.85N。

(3)本研究是对非织造纤维结构应用于包装材料的初步探讨。在后续研究中,将会将制备的非织造叠层材料热压成瓦楞纸板、蜂巢等结构以增加材料的压缩和缓冲性能。

参考文献

- [1] 甄琪,钱晓明,张恒.防刺材料的研究现状及展望[J].棉纺织技术,2014,42(10):77-81.
- [2] 张红,董翔.包装材料的发展与选择[J].包装工程,2009,30(12):233-234.
- [3] 黄颖为,赵庆海,顾桓.运输包装在运输过程中的主要影响因素及监测技术研究[J].包装工程,2004,25(6):111-115.
- [4] 骆光林,付云岗.现代物流对运输包装的要求[J].包装工程,2004,25(5):209-210.
- [5] 彭绍钧,于修业,程隆棣,等.氨纶包芯纱主要性能的影响因素探析[J].棉纺织技术,2000,28(9):10-12.
- [6] 任意.超高分子量聚乙烯纤维性能及应用概述[J].广州化工,2010,38(8):1-2.
- [7] 俞波.对位芳纶生产和应用技术进展[J].合成技术及应用,2005,20(3):6-8.
- [8] 田文伟.尼龙/芳纶纤维复合材料的制备及其研究[D].海口:海南大学,2012.
- [9] 汤伟,王瑞岭.对位芳纶纤维的研究与应用进展[J].化工新型材料,2010,38(7):43-45.
- [10] 孔祥勇,缪旭红.多轴向经编织物的防刺性能[J].纺织学报,2012,33(7):60-65.
- [11] 顾肇文.柔性复合防刺服机理研究[J].纺织学报,2006,27(8):2-4.
- [12] 张佐光,李岩,殷立新,等.防弹芳纶复合材料实验研究[J].北京航空航天大学学报,1995,21(3):1-5.
- [13] 魏敏.非织造布生产技术与生产状况[J].纺织机械,2005(4):20-23.
- [14] 向阳.非织造结构复合材料及其应用[J].产业用纺织品,2006,24(5):1-9.
- [15] 梁慧芳.锦纶六非织造布抛光材料的制备与性能研究[D].杭州:浙江理工大学,2012.
- [16] 王颖.多层复合高性能材料防刺性能的研究[D].无锡:江南大学,2012.