

纤维增强聚丙烯复合材料研究进展

李智鑫¹, 张才前^{2,*}

(1.绍兴文理学院 纺织服装学院,浙江 绍兴 312000;

2.绍兴文理学院 元培学院,浙江 绍兴 312000)

摘要:聚丙烯作为常用的商品聚合物之一,因其耐紫外性差、易氧化等缺点限制了其应用,因此生产聚丙烯复合材料是拓展聚丙烯使用范围的途径之一。目前多种纤维可用作热塑性聚丙烯基体的增强材料,从纤维素纤维、有机合成纤维、无机纤维对纤维增强聚丙烯复合材料进行了论述,并从复合原料、界面相容方法等方面分析聚丙烯复合材料发展现状及存在的问题,提出聚丙烯复合材料将向材料尺寸纳米化,材料种类多样化,产品功能系列化等方向发展。

关键词:聚丙烯复合材料;纤维素纤维;有机合成纤维;无机纤维;界面相容性

中图分类号:TB332

文献标识码:A

文章编号:1673-0356(2021)06-0006-04

聚丙烯简称PP,有较好的力学性能、阻燃性及尺寸稳定性等,因此在汽车、机械等工业及日常生活中用途广泛,是使用最广泛的塑料之一,也常用来作基体材料。纤维是一类材料,是连续的长丝或离散的细长件,类似于线的长度,可以纺成细丝、绳索或细绳^[1],可用作聚丙烯基体的增强体。由于部分纤维与聚丙烯的吸湿性差异明显,因此二者之间存在界面相容性差的问题,需要对纤维表面进行处理来增强黏合力,以此改善复合材料的性能。介绍了不同纤维增强的聚丙烯复合材料,主要包括纤维素纤维、有机合成纤维及无机纤维。

1 纤维素纤维

1.1 麻纤维

1.1.1 黄麻纤维

在纤维素纤维中,黄麻似乎是最有用、廉价且易得的纤维。黄麻纤维含有82%~85%的全纤维素,其中58%~63%是 α -纤维素。传统的黄麻,一般用于制造粗麻布衣服、绳索、麻袋、地垫等。黄麻产量高,性能好并有生物降解性,因此是复合材料增强体的一个选择。

RAHMAN M R等^[2]将粗制的黄麻纤维进行氧化,用尿素对制成的复合材料进行后处理,将粗制黄麻与氧化后的黄麻进行微结构和机械性能的对比,并使用了不同的纤维含量。结果发现,氧化的黄麻纤维具有更好的机械性能,尿素后处理增加了纤维与基体之

间的界面结合力,含量为30%的黄麻增强复合材料具有最佳的机械性能。

1.1.2 亚麻纤维

亚麻是最古老的作物之一。亚麻植物由带有种子荚的根、茎和树枝组成,仅植物的中心部分可用于生产纤维。亚麻是一种低密度可再生原料(约1.4~1.5 g/cm³)^[3],有很高的比强度、模量,良好的耐磨性和阻燃性。使用亚麻纤维作为复合材料的缺点包括低热稳定性,高吸湿性和有限的纤维长度。

HU Q X等^[3]为了降低亚麻/聚丙烯复合材料的吸湿性并改善其机械性能,将亚麻经过碱处理,分别以硅烷N-[3-(三甲氧基甲硅烷基)丙基]乙二胺(AA-PTS)和三甲基十八烷基溴化铵(STAB)为表面活性剂对亚麻进行改性,表征亚麻增强PP复合材料的界面黏合性、吸湿性和机械性能,试验证明,STAB改性的亚麻可以与聚丙烯产生更好的界面黏合性。

1.2 竹纤维

由于竹子生长速度快,仅需要几个月的生长,因此是一种丰富的自然资源,常用于建造各种生活设施和工具。竹子中的纤维素纤维沿竹子的长度排列,在竹纤维的方向上具有最大的拉伸强度、弯曲强度和刚度,竹子的高强度和韧性归因于其纤维细胞壁中纤维素含量高,竹纤维被称为“天然玻璃纤维”^[4]。

SHAMRIA S L等^[5]使用压缩成型工艺制备竹纤维增强聚丙烯复合材料,并测试其机械性能和电阻率。最终结果显示硬度为94 HS,结晶度为69%,当频率在1 KHz到1 000 KHz之间变化时,复合材料的电阻率大约降低了90.38%,与纯PP相比,该复合材料具有更高的冲击强度和电阻率,因此是用于电气绝缘的合

收稿日期:2021-01-19

作者简介:李智鑫(1997-),女,硕士,主要研究方向为复合纤维的开发。

*通信作者:张才前(1979-),男,副教授,研究方向为纺织品设计与开发,
E-mail:zhangcq@usx.edu.cn。

适材料。

1.3 椰壳纤维

椰壳纤维是从椰子树果实的壳中获得的纤维,椰子树在热带国家广泛生长,传统椰壳产品仅占椰壳总产量的一小部分。椰壳纤维通常用于制造各种地板装饰材料、纱线、绳索、垫子、床垫、填缝船、土工纺织布、隔热板等。椰壳具有良好的特性,高硬度、隔音、防蛀、无毒、不易燃、抗微生物和真菌降解,同时椰壳纤维还比其他纤维素纤维更耐湿,并耐高温和盐水^[6]。

HAQUE M 等^[7]用苯重氮盐对椰壳进行化学处理,使用单台挤出机和注塑机制备椰壳/聚丙烯复合材料。结果显示:经过化学处理的复合材料具有更好的机械性能,复合材料的机械性能随纤维负载量的增加而增加。但是,与30%的纤维相比,纤维含量为35%的复合材料的弯曲强度和冲击强度较低。因此纤维负载量为30%的椰壳纤维增强聚丙烯具有最佳的机械性能。

1.4 稻壳纤维

稻壳是一种可再生低成本植物残渣,稻壳由于其独特的成分,通常用作燃料,可提供热量和发电,小部分用于天然纤维复合材料。与木材复合材料相比,稻壳有耐候性、可用性、可生物降解性和稳定性等优点,稻壳复合材料在镶板框架和汽车零件的建筑物中的应用越来越多^[8]。

KUMAR V 等^[9]把马来酸酐聚丙烯用作相容剂,用不同的填料与稻壳增强聚丙烯复合材料进行对比,如滑石粉、云母、CaCO₃、硅灰石和氧化锆等,研究复合材料的硬度、冲击强度等机械性能。结果表明,马来酸酐聚丙烯可以提高复合材料的拉伸强度,而滑石粉改性的复合材料比稻壳聚丙烯复合材料具有更好的屈服强度、杨氏模量和弹性模量。

1.5 菠萝叶纤维

菠萝纤维的主要化学成分是纤维素(70%~82%),木质素(5%~12%)和灰分(1.1%)^[10]。菠萝叶纤维是菠萝种植的废品,价格相对便宜且可大量获得,菠萝叶纤维具有优异的机械性能,这与其高纤维素含量有关。因此,无需任何额外的成本投入,就可以将菠萝叶纤维用于工业用途,它有着聚合物增强复合材料的潜力。

ARIB R M N 等^[10]调查了菠萝叶纤维/聚丙烯复合材料的拉伸和弯曲行为与体积分数的关系。发现使用菠萝叶纤维作为聚丙烯基质的增强剂,可以成功地

开发出具有良好强度的复合材料。在一定范围内,体积分数增加,复合材料的弯曲模量及弯曲应力也会增加。其中体积分数为10.8%的拉伸模量和拉伸强度分别为687.02 MPa和37.28 MPa。弯曲模量在2.7%的体积分数下具有较高的值。

2 有机合成纤维

2.1 碳纤维

碳纤维因其高比强度、比模量和热物理性质而成为最广泛用于热塑性和热固性复合材料的增强纤维之一,它还有出色的机械性能,包括高拉伸强度、高拉伸模量、出色的抗压强度、低密度。使用碳纤维作为增强材料可获得具有高强机械性能的轻质材料。在未来,低成本的碳纤维可能会为许多技术提供巨大的应用前景。

TIAN H F^[11]制备碳纤维/聚丙烯复合材料的过程中加入马来酸酐接枝聚丙烯,并详细研究所得复合材料的机械性能和结晶行为。发现复合材料的界面相容性很好,碳纤维均匀分散在PP基体中。CF对PP基体表现出明显的增强作用,改善了PP材料的力学性能,当CF质量为20%时,拉伸强度和弯曲强度提高了100%以上。

2.2 芳纶

芳纶是具有强度高、模量高、比重低、抗冲击性高、耐热性好,优异的抗疲劳性和抗蠕变性,是防弹装备的常用纤维。将芳纶溶液挤出成纤维形式时,这种结构的平行聚合物链与纤维轴平行的排列度极高,相邻分子中氢和氧原子之间的弱氢键使它们在横向上保持在一起。所得的长丝是高度各向异性的,在纵向上比在横向上有更高的强度和模量。

N Nayak^[12]将涤纶纤维织物环氧树脂和芳纶纤维织物—聚丙烯(PP)复合层压板受7.62 mm装甲穿透弹丸撞击的弹道性能进行对比,发现弹道极限随复合层压板的厚度线性变化。与同等厚度的芳纶—环氧复合材料相比,芳纶/PP复合材料表现出更高的弹道极限,可得出结论:与热固性树脂相比,非极性热塑性树脂是防弹应用的潜在基质材料。

2.3 聚酯纤维

聚酯纤维又称涤纶,是目前市场上产量最高的合成纤维,且产量增长迅速,主要作服用或装饰织物,应用在服装、产业用纺织品、工业、农业等各个领域。由于其具有高强度、良好耐磨性和保形性等优点,常用来作复合材料的增强体。

江兴文^[13]通过熔融共混法制备了聚酯纤维/聚丙烯复合材料,发现经过烧碱处理后,基体与增强体之间的作用力有明显增加。随着聚酯纤维含量的增加,复合材料的力学性能增强,在10%~15%时,力学性能最好;偶联剂在15%以内的情况下,复合材料的冲击强度随偶联剂的增加而提高,在10%的情况下达到最佳值。

3 无机纤维

3.1 玻璃纤维

玻璃纤维(GF)具有良好性能,包括优异的绝缘性、耐热性、耐腐蚀性以及耐化学性,并且玻璃纤维的成本很低,因此成为一种理想的金属替代材料,在纤维增强塑料行业中广泛使用,E玻璃和S玻璃是纤维增强塑料行业中常用的纤维类型。用玻璃纤维增强的聚合物复合材料由于有高性价比而广泛用于航空航天、电子信息、工业生产等领域。

潘利明^[14]等通过双螺杆混炼工艺得到玻璃纤维/PP复合材料,发现加入25%玻璃纤维时,材料的拉伸强度、弯曲强度以及冲击强度都有100%以上的提升。在复合材料中加入无机磷酸锆载银抗菌剂赋予材料抗菌性,最后证实是25%的玻璃纤维和1%的抗菌剂结合能得到性能最好的复合材料,包括抗菌防霉、耐老化性能和力学性能。

3.2 金属纤维

金属纤维是有别于传统纺织纤维的一种材料,有着强导电性、导热性、耐热性等优良性能,因此有一定的产品优势,一般可作为导线、抗静电材料、防辐射材料、电磁波屏蔽材料、滤网和其他特殊材料,也可作为复合材料中的增强材料,应用在汽车、工业制造、产品运输等领域。

在添加聚乙二醇(PEG)和聚丙烯接枝马来酸酐(PP-g-MA)的情况下,NAEBE M等^[15]将铝颗粒(Al)添加到聚丙烯(PP)中生产复合材料,然后熔纺成单丝并测试拉伸性能、直径均匀性和形态,从而发现,PEG和PP-g-MA可以改善铝颗粒在聚丙烯基体中的分散性,从而改善Al/PP复合纤维的均匀性和拉伸性能。两者相比,PEG能更好地改善纤维拉伸强度。

3.3 陶瓷纤维

陶瓷纤维是一种多晶耐火材料,有质轻、强度高、化学稳定性好等优点,应用于化工、能源、航空航天等多种领域。陶瓷纤维由各种金属氧化物、金属氮化物、金属碳化物及其混合物组成。陶瓷纤维可分为两大类:非氧化物陶

瓷纤维和氧化物陶瓷纤维。其中氧化锆、氧化锌、氧化铝、钛酸钡等是氧化物陶瓷纤维的代表。

翟倩^[16]以硅烷处理后的氧化铝为增强体,聚丙烯为基体,制备复合材料,着重研究其机械性能以及耐热性能。发现处理后的复合材料的拉伸强度略有下降,而冲击强度、邵氏硬度以及拉伸模量都有提高,同时通过热分析法表明,材料的耐热性明显提高。

3.4 玄武岩纤维

玄武岩纤维是在流动的熔岩中发现的,是从玄武岩基熔融火成岩火山岩挤出后所得^[17]。它在高温下保持良好的强度和刚度,具有出色的稳定性、良好的耐化学性,并且易于加工、无毒、天然、环保且便宜。近年来,玄武岩纤维作为增强体的应用逐步增多,可用于石化、土木工程和运输行业。

TANG C H^[18]比较了玄武岩纤维增强聚丙烯(BFRPP)复合材料和纯聚丙烯(PP)的热稳定性和燃烧性能。结果表明,玄武岩纤维对提高PP的初始分解温度没有积极影响,但可以降低最大热分解速率,提高最大热分解速率的温度。在PP中添加玄武岩纤维可能会稍微降低极限氧指数,在相同的氧气浓度下,BFRPP的燃烧明显比PP慢得多。

4 界面相容性的研究

复合材料的强度和承载能力基本上取决于纤维和基体的机械性能、微观结构及其界面相容性,由于纤维与基体的化学成分不同,因此二者的界面相容性差是纤维增强聚丙烯复合材料的一个主要存在问题,也是重点研究方向。一般可通过对纤维进行改性或添加偶联剂来改善复合材料的界面黏合力,改性方法包括碱处理、氧化、重氮化、乙酰化和其他化学处理等^[19]。YU T等^[19]发现碱化处理对提高界面相容性至关重要,使用马来酸酐聚丙烯共聚物和乙烯基三甲氧基硅烷处理可对界面相容性有进一步的改善。CHEGDANI F等^[20]发现碳纳米管与石墨烯纳米片相比,碳纳米管和马来酸酐聚丙烯的共同作用可达到复合材料最佳的界面相容效果。HIDAYAH N M S等^[21]证明了通过将线性烷基链接枝到氧化石墨烯表面可使聚丙烯纳米复合材料的界面相容性得到改善。

5 发展前景

随着时代的进步,传统的纤维织物很难满足现代生活的需求,因此要结合现代纺织技术生产出性能更好的纤维。复合材料能够结合两种甚至多种材料的优

点,改善材料的综合性能,因此拥有广阔的发展前景。复合材料发展迅速,由单一功能向多功能发展,材料尺寸由微米级向纳米化转变(由纳米微粒向纳米纤维转变),界面处理技术的提升促使越来越多的纤维可作为复合材料的增强体,因此复合材料种类日益扩大。相信随着对聚丙烯复合材料研究的不断深入,会赋予复合材料更多更优异的性能,产品的附加值增大,聚丙烯复合材料将在汽车工业、医药器材、建筑行业以及生活生产发挥着更重要的作用,给社会带来更多的效益。

参考文献:

- [1] SHUBHRA Q T H, ALAM A, QUAIYYUM M A. Mechanical properties of polypropylene composites[J]. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 2011, 26(3): 362—391.
- [2] RAHMAN M R, HASAN M. Physico-mechanical properties of jute fiber reinforced polypropylene composites [J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2009, 29(3):445—455.
- [3] HU Q X, LI L, YAN W L, *et al.* Moisture absorption and mechanical properties the chemically modified linen/polypropylene composites[J]. Chemical Research in Chinese Universities, 2017, 33(6):1 000—1 006.
- [4] IBRAHIM I D, JAMIRU T, SADIKU R E, *et al.* The use of polypropylene in bamboo fibre composites and their mechanical properties-A review[J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2015, 34(16):1 347—1 356.
- [5] LATIF S S, NAHAR S, HASAN M. Mechanical and electrical resistivity of bamboo fiber reinforced polypropylene composites[J]. Journal of Polymer Materials, 2015, 32(1):85—92.
- [6] AYRILMIS N, JARUSOMBUTI S, FUEANGVIVAT V, *et al.* Coir fiber reinforced polypropylene composite panel for automotive interior applications[J]. Fibers and Polymers, 2011, 12(7):919—926.
- [7] HAQUE M, ISLAM N, HUQUE M, *et al.* Coir fiber reinforced polypropylene composites: Physical and mechanical properties[J]. Advanced Composite Materials, 2010, 19(1):91—106.
- [8] ORJI B O, MCDONALD A G. Evaluation of the mechanical, thermal and rheological properties of recycled polyolefins rice-hull composites[J]. Materials, 2020, 13(3): 667—682.
- [9] KUMAR V, SAINI M S, KANUNGO B K, *et al.* Effect of various additives on mechanical properties of rice husk polypropylene (RHPP) composites[J]. Journal of Polymer Engineering, 2012, 32(3):163—166.
- [10] ARIB R M N, SAPUAN S M, AHMAD M M H M, *et al.* Mechanical properties of pineapple leaf fibre reinforced polypropylene composites[J]. Materials & Design, 2006, 27(5):391—396.
- [11] TIAN H F, ZHANG S, GE X, *et al.* Crystallization behaviors and mechanical properties of carbon fiber-reinforced polypropylene composites[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2016, 128(3):1 495—1 504.
- [12] VAN DE VELDE K, KIEKENS P. Effect of material and process parameters on the mechanical properties of unidirectional and multidirectional flax/polypropylene composites[J]. Composite Structures, 2003, 62(3—4):443—448.
- [13] 江兴文. PET 纤维/聚丙烯复合材料的制备和性能研究[D].上海:东华大学,2009.
- [14] 潘利明,王晓群,陆超超,等. 玻纤增强聚丙烯抗菌防霉复合材料制备及性能[J]. 工程塑料应用,2020,48(5):57—62.
- [15] NAEBE M, HURREN C, MAAZOUZ A, *et al.* Improvement in mechanical properties of aluminum polypropylene composite fiber[J]. Fibers and Polymers, 2009, 10(5):662—666.
- [16] 翟倩,方永炜,练伟,等. 硅烷表面修饰氧化铝对聚丙烯的力学和耐热性能的影响[J]. 塑料工业,2020,48(1): 41—45,131.
- [17] DHAND V, MITTAL G, RHEE K Y, *et al.* A short review on basalt fiber reinforced polymer composites [J]. Composites Part B: Engineering, 2015, 73:166—180.
- [18] TANG C H, XU F X, LI G Y. Combustion performance and thermal stability of basalt fiber-reinforced polypropylene composites [J]. Polymers, 2019, 11(11): 1 826—1 845.
- [19] YU T, WU C M, WANG C J, *et al.* Effects of surface modifications on the interfacial bonding of flax/ β -polypropylene composites [J]. Composite Interfaces, 2013, 20(7):483—496.
- [20] CHEGDANI F, TAKABI B, EL MANSORI M E, *et al.* Effect of flax fiber orientation on machining behavior and surface finish of natural fiber reinforced polymer composites[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2020, 54:337—346.
- [21] HIDAYAH N M S, LIU W W, KHE C S, *et al.* Roles of linear alkyl chain alkylation on reinforcement of graphene based polypropylene nanocomposites[J]. Materials Today Communications, 2020, 22:100 775.

(下转第 52 页)

- [14] 水翠翠. 基于平均体模型的标准中间体人台研究——建模方法研究及系统开发[D]. 上海: 东华大学, 2014.
- [15] 李宋明. 基于 POSER 软件的服装三维人台建模技术研究[D]. 北京: 北京服装学院, 2007.
- [16] 白玉. 不同胸型的参数化文胸人台的研究[D]. 西安: 西安工程大学, 2012.
- [17] HSIAO S W, CHEN R Q. A study of surface reconstruction for 3D mannequins based on feature curves[J]. *Computer-Aided Design*, 2013, 45(11): 1 426–1 441.
- [18] 余张君. 基于中老年着装人体美评价的旗袍用人台建模研究[D]. 上海: 东华大学, 2018.
- [19] 张小妞, 王 军, 张春媛. 数字化服装三维人体建模方法综述[J]. *山东纺织科技*, 2018, 59(6): 44–47.
- [20] 蔡 剑. 基于特征尺寸的个性化三维服装人台参数化建模系统的研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2012.
- [21] 陈利珍. 三维服装建模技术的研究与实现[D]. 武汉: 武汉纺织大学, 2013.
- [22] HILTON A, BEREFORD D, GENTILS T, *et al.* Whole-body modelling of people from multiview images to populate virtual worlds[J]. *The Visual Computer*, 2000, 16(7): 411–436.
- [23] JANG I Y, CHO J H, LEE K H. 3D human modeling from a single depth image dealing with self-occlusion[J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2012, 58(1): 267–288.
- [24] GU B F, LIU G L, XU B G. Girth prediction of young female body using orthogonal silhouettes[J]. *The Journal of the Textile Institute*, 2017, 108(1): 140–146.

Research Progress of Digital Mannequin Modeling

HUANG Zhe¹, PAN Li^{1,2,*}, WANG Jun^{1,2}, YAO Tong^{1,2}

(1.College of Fashion, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China;

2. National Experimental Teaching Demonstration Center for Clothing Design and Engineering, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

Abstract: In order to solve the problems existing in the research of mannequin modeling, the technology of mannequin modeling was better applied to mannequin production, customized clothing design and other fields. The research progress and application of mannequin modeling at home and abroad were analyzed. It was pointed out that parametric design was the main development direction of mannequin modeling research. In the future, mannequin model database should be established and computer programming technology should be used to assist modeling, in order to make up for the shortcomings of the current parameterized mannequin modeling, and provide a more perfect modeling scheme for the follow-up digital mannequin modeling research.

Key words: digitization; mannequin modeling; parameterization; modeling method; human body modeling

(上接第 9 页)

Research Progress of Fiber Reinforced Polypropylene Composites

LI Zhi-xin¹, ZHANG Cai-qian^{2,*}

(1.School of Textile and Apparel, Shaoxing University, Shaoxing 312000, China;

2.Yuanpei College, Shaoxing University, Shaoxing 312000, China)

Abstract: As one of the common commercial polymers, polypropylene was limited in its application due to its poor UV resistance and easy oxidation. Therefore, the production of polypropylene composite materials was one of the ways to expand the use of polypropylene. At present, a variety of fibers could be used as reinforcement materials for thermoplastic polypropylene matrix. Fiber-reinforced polypropylene composites were discussed from cellulose fibers, organic synthetic fibers, and inorganic fibers. The development status and existing problems of polypropylene composites were analyzed from the aspects of composite raw materials and interface compatibility methods. It was pointed out that polypropylene composites materials would develop in the direction of nanomaterials, diversification of material types, and serialization of product functions.

Key words: polypropylene composite material; cellulose fiber; organic synthetic fiber; inorganic fiber; interface compatibility