

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.07.007

黄麻纤维 / 回收碳纤维混杂增强聚丙烯的制备及性能

张红霞^{1,2,3}, 王春红^{1,2,3}, 任子龙^{1,2,3}, 王妮^{1,2,3}, 支中祥^{1,2,3}, 王灵雪^{1,2,3}

(1. 天津工业大学纺织学院, 天津 300387; 2. 天津工业大学教育部与天津市共建先进复合材料重点实验室, 天津 300387;

3. 天津工业大学中空纤维膜材料与膜过程重点实验室, 天津 300387)

摘要: 针对回收碳纤维(RCF)再利用困难等问题, 采用非织造-模压成型工艺, 以黄麻纤维(JF)和RCF为增强材料、聚丙烯(PP)纤维为基体, 制备绿色、环保的JF/RCF混杂增强PP复合材料。研究了RCF质量分数对复合材料力学、导热、导电性能的影响, 并利用扫描电子显微镜观察复合材料断面的微观形貌。结果表明, 随RCF含量的增加, 复合材料的拉伸强度、弯曲强度呈先上升后下降的趋势, 拉伸弹性模量、弯曲弹性模量、剪切强度、热导率呈上升趋势, 电阻率呈下降趋势。综合考虑, 当RCF质量分数为30%时, PP/JF/RCF复合材料力学性能最好, 拉伸强度、拉伸弹性模量、弯曲强度、弯曲弹性模量和剪切强度分别为62.30 MPa, 7.26 GPa, 87.37 MPa, 11.27 GPa和8.44 MPa, 比PP/JF分别提高197%, 108%, 120%, 152%和84%; 当其质量分数为40%时, 导热、导电性能最优, 热导率、体积电阻率分别为0.621 W/(m·K), 0.31 Ω·cm, 热导率提高115%, 体积电阻率下降45%。力学性能达到TBT 3263-2011动车组乘客座椅前桌台要求。研究结果为RCF再利用提供可行性方案, 可拓宽复合材料的应用领域。

关键词: 回收碳纤维; 再利用; 黄麻纤维; 聚丙烯纤维; 复合材料; 性能

中图分类号: TQ327.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)07-0035-06

Preparation and Properties of Jute Fiber / Recycled Carbon Fiber Hybrid Reinforced Polypropylene

Zhang Hongxia^{1,2,3}, Wang Chunhong^{1,2,3}, Ren Zilong^{1,2,3}, Wang Ni^{1,2,3}, Zhi Zhongxiang^{1,2,3}, Wang Lingxue^{1,2,3}

(1. School of Textile, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China; 2. Key Laboratory of Advanced Textile Composite Materials, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China; 3. Key Laboratory of Hollow Fiber Membrane Material and Membrane Process of Ministry of Education, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

Abstract: In order to solve the difficulty of reuse of recycled carbon fiber (RCF), environmental RCF and jute fiber (JF) hybrid reinforced polypropylene (PP) composites were prepared by means of nonwoven process and mold-pressing technology. Then the effects of RCF mass fraction on mechanical, thermal and conductive properties of composites were studied and the morphologies of fracture surfaces of composites were observed by SEM. The results show that with the increase of RCF mass fraction, the tensile strength and flexural strength of the composites increase firstly and then decrease; tensile modulus, flexural modulus, shear strength, thermal conductivity increase; the resistivity decreases. The mechanical properties of PP/JF/RCF composites attain a peak while the RCF mass fraction is 30%. The tensile strength, tensile modulus, flexural strength, flexural modulus and shear strength are 62.30 MPa, 7.26 GPa, 87.37 MPa, 11.27 GPa and 8.44 MPa, respectively. Compared with pure JF reinforced composites, properties improve by 197%, 108%, 120%, 152% and 84%, respectively. When RCF mass fraction is 40%, the thermal conductivity and electrical conductivity are optimum. The thermal conductivity and resistivity are 0.621 W/(m·K) and 0.31 Ω·cm, respectively. The thermal conductivity increases by 115% and resistivity decreases by 45%. Mechanical properties meet the requirements of TBT 3263-2011 front table of the passenger seat. This study provides feasible scheme for reuse of RCF and broadens the application field of composites.

Keywords: recycled carbon fiber; reuse; jute fiber; polypropylene fiber; composite; property

基金项目: 天津市科技特派员项目 (16JCTPJC44900)

通讯作者: 王春红, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为绿色环保功能型纤维、纺织品及纺织复合材料 E-mail: 18802231369@163.com

收稿日期: 2018-05-10

引用格式: 张红霞, 王春红, 任子龙, 等. 黄麻纤维 / 回收碳纤维混杂增强聚丙烯的制备及性能 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(7):35-40.

Zhang Hongxia, Wang Chunhong, Ren Zilong, et al. Preparation and properties of jute fiber / recycled carbon fiber hybrid reinforced polypropylene[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(7):35-40.

碳纤维复合材料(CFRP)因具有质轻、高强高模、耐腐蚀等优异性能,被广泛应用于航空航天、汽车工业、轨道交通、新能源、体育用品等领域^[1]。然而,随着社会对碳产品的高度关注,CFRP产生的废丝、废旧碳纤维也与日俱增。“十三五”资源领域科技创新专项规划以创新驱动、绿色发展、集约利用、安全保障为总体思路,强调资源回收再利用,使得复合材料生命循环形成闭环,实现经济可持续发展^[2-4]。因此,回收碳纤维(RCF)的再利用显得至关重要。

RCF因力学性能优异、节能减排、生产成本低、经济价值高,目前在汽车领域获得应用,如位于荷兰海牙的壳牌集团推出一款轻量化城市通勤概念车,车身完全由RCF制备的复合材料制造,对降低成本和轻量化方面做出突出贡献,并且使全车在报废时几乎都能够回收;BMW公司在其i3,i8车型上使用了RCF,主要用于乘客舱、车身和驱动模块的某些部件,不仅降低能耗,还带来显著的环保效益和经济效益^[5]。碳纤维的回收及再利用已成为全球研究热点,但RCF利用率低,它的再利用仍面临巨大挑战^[6-7]。

随着不可降解垃圾的增多、温室效应等环境问题的突出^[8],以及人们环保意识的增强,天然纤维因价格低、可再生及可降解等优势,开发环境友好、可自然降解的绿色复合材料已备受青睐^[9-10]。并且因成本低廉和环保性能,已得到社会的普遍认可和产业化应用^[11-13]。目前,纤维增强复合材料中研究比较热门的是轻质高强纤维,它在汽车工业、建筑建材、航空航天等领域应用广泛^[8]。黄麻纤维(JF)因质轻价低、分布广、产量大及比强度和初始模量较高,用其增强复合材料具有广阔的市场应用前景^[10,14-15]。但对比天然纤维增强复合材料与高性能纤维(如玻璃纤维、碳纤维、芳纶纤维)增强复合材料的力学性能,前者还存在一定差距,此缺陷限制了其在高承载能力复合材料领域的应用^[8,16]。同时,针对天然纤维增强热塑性复合材料的研究主要是通过单一天然纤维增强热塑性复合材料的化学改性(如碱处理、偶联剂处理)来提高复合材料的力学性能,如D. Ray等^[17]研究了碱处理时间对JF力学性能的影响;杨亚洲等^[18]研究了碱处理时间对JF/酚醛树脂复合材料力学性能的影响;但化学改性仍存在污染环境和浪费原料的问题。

天然纤维和RCF混杂增强复合材料国内外研

究较少,且已有的研究采用的工艺多为短切纤维注塑成型工艺或直接采用玻璃纤维毡与天然纤维毡叠层热压工艺,如刘婷等^[19]采用熔融共混和模压成型的方法制备剑麻纤维/玻璃纤维混杂增强聚丙烯(PP)复合材料,探究复合材料力学性能、热性能和微观结构;刘晓烨等^[20]采用不同的铺层设计制备麻纤维/玻璃纤维增强PP复合材料。少有采用RCF和JF混杂,经非织造工艺制备预成型件,模压成型制备复合材料的短流程工艺的研究。

笔者以JF和RCF为增强体,以PP纤维为基体,经非织造工艺制备预成型件,采用模压成型短流程工艺制备一种绿色、环保的JF/RCF混杂增强PP复合材料,探讨了RCF质量分数对复合材料力学、导热、导电性能的影响,为RCF的再利用、拓宽其应用领域提供一种可行性方案。

1 实验部分

1.1 原材料

RCF:中航复材研究所;

JF:长度约60 mm,杭州双绿纺织品有限公司;

PP:细度平均约18 μm ,长度60 mm左右,山东陵县华龙化纤有限公司;

脱模剂:PMR型,北京克拉斯化工技术有限公司。

1.2 设备和仪器

开松机:XFH型,青岛市胶南针织机械厂;

梳理机:XF型,自制;

针刺机:SCZ型,江苏省常熟市无纺布机械厂;

烘箱:DHG-9240A型,巩义市予华仪器有限公司;

模压机:Y/TD71-45A型,天津市液压机械厂;

万能强力机:3369型,美国Instron公司;

热常数分析仪:瑞典Hot disk公司;

四探针电阻率测试仪:RTS-8型,苏州晶格电子有限公司;

扫描电子显微镜(SEM):TM3030型,日本株式会社日立高新技术那柯事业所。

1.3 PP/JF/RCF的制备

混合毡的制备:以JF和RCF为增强材料,PP为基体材料,制备不同RCF含量的混合毡,其中PP的质量分数为50%,JF和RCF的总质量分数为50%。先将RCF,JF和PP分别在开松机上单独开松一次,然后将三种纤维经人工混合后再开松一次,接着将混合均匀的PP/JF/RCF喂入梳理机梳理成

网,其单网面密度约 380 g/m^2 ,然后经针刺机固结成纤维毡,最后裁剪 10 块 $18 \text{ mm} \times 18 \text{ mm}$ 大小的纤维毡,并标记纤维毡的针刺方向。

复合材料板材成型:将 10 块纤维毡经烘箱 $80^\circ\text{C} + 1 \text{ h}$ 烘干后,按照纤维毡针刺方向交叉、重叠铺放,经模压机热压成型,制成厚度为 3 mm 的复合材料板材。模压工艺如下^[21]: $80^\circ\text{C} / 3 \text{ MPa}$ 条件下模压 4 min ,卸压 1 min ,重复 2 次; 5 MPa 压力下升温到 160°C ; 15 MPa 压力下升温到 190°C ,热压 20 min ;带压冷却 6 h 后,取出压制好的复合材料。

1.4 测试与表征

力学性能:利用万能强力机测试试样的力学性能。拉伸性能按 ASTM D638-2014 测试,样品尺寸 $160 \text{ mm} \times 12.5 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$,跨距 90 mm ,加载速度 5 mm/min ;弯曲性能按 ASTM D790-2010 测试,样品尺寸 $60 \text{ mm} \times 12.5 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$,跨距 48 mm ,加载速度 2 mm/min ;剪切强度按 JC/T 773-2010 测试,样品尺寸 $30 \text{ mm} \times 15 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$,跨距 15 mm ,加载速度 1 mm/min 。

导热性能:采用热常数分析仪按 GB/T 10294-2008 测试,环境温度为 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 。

导电性能:采用四探针电阻率测试仪按 GB 1410-2006 测试,环境温度为 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 。

断面形貌观察:先将拉伸测试后的试样进行喷金处理,然后采用 SEM 观察断面微观形貌。

2 结果与讨论

2.1 PP/JF/RCF 的力学性能

(1) RCF 含量对复合材料拉伸性能的影响。

不同 RCF 含量 PP/JF/RCF 的拉伸性能如图 1 所示。从图 1 可见,随着 RCF 含量的增加,PP/JF/RCF 的拉伸强度呈先上升后下降趋势,而拉伸弹性模量呈上升趋势。综合考虑,当 RCF 质量分数为 30% 时,复合材料的拉伸性能达到最优,此时拉伸强度达到最大值 62.3 MPa ,拉伸弹性模量为 7.26 GPa ;与 PP/JF 相比,分别提高了 197% 和 108%。这是因为 RCF 的强度和模量均比 JF 高得多,在拉伸测试时,RCF 承担部分载荷,增加复合材料的载荷承受能力,故 RCF 加入可提高复合材料的拉伸性能。当加入少量的 RCF, JF 和 RCF 相互促进起增强作用,增加了纤维和树脂间的摩擦力,同时 RCF 表面还有活性氧化基团,与树脂结合性提升,所以 PP 能够很好地浸润纤维,复合材料的界面

性能也较好;当 RCF 质量分数为 30% 时,增强体能最大承担拉伸应力,复合材料的界面强度达到最优,此时复合材料的拉伸性能最好;随 RCF 含量继续增加,由于 RCF 抱合力差,同时 RCF 和 JF 与 PP 性能不同,三者形成的相界面比较清晰,PP 不能完全浸润纤维,复合材料界面性能开始恶化,出现抽拔现象,导致拉伸强度开始下降。

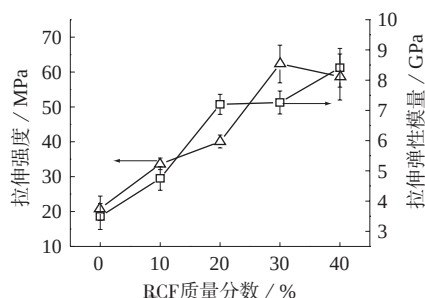


图1 不同RCF含量复合材料的拉伸性能

(2) RCF 含量对复合材料弯曲性能的影响。

不同 RCF 含量 PP/JF/RCF 的弯曲性能如图 2 所示。从图 2 可知,加入 RCF 后,PP/JF/RCF 的弯曲性能增加;随着 RCF 含量增加,复合材料的弯曲性能与拉伸性能的变化趋势一致。综合考虑,当 RCF 质量分数为 30% 时,复合材料的弯曲性能达到最优,此时弯曲强度达到最大为 87.37 MPa ,弯曲弹性模量为 11.27 GPa ;比 PP/JF 分别提高 120% 和 152%。RCF 的弯曲强度和模量均比 JF 高得多,能够更好地发挥承载能力,所以 RCF 的加入可以提高复合材料的弯曲性能。当 RCF 质量分数低于 30% 时,随其含量增加,JF 和 RCF 相互促进起增强作用,所以复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量均上升,说明加入 RCF 提高了复合材料的界面粘结性能;当 RCF 质量分数达到 30% 时,界面粘结性能达到最优,此时 RCF 发挥了最大的承载能力,复合材料的弯曲性能最好;随 RCF 含量继续增加,复合材料的弯曲强度开始下降,主要是由于 RCF 含量过大时,

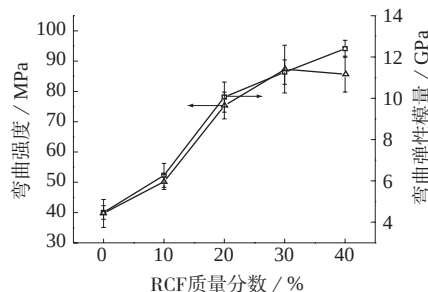


图2 不同RCF含量复合材料的弯曲性能

RCF 抱合力差,树脂不能完全浸润纤维,复合材料界面性能开始恶化,在断面处 RCF 存在抽拔现象,导致弯曲强度开始下降。

(3) RCF 含量对复合材料剪切性能的影响。

不同 RCF 含量 PP/JF/RCF 的剪切强度如图 3 所示。从图 3 可见,加入 RCF 后,PP/JF/RCF 的剪切强度增加。随着 RCF 含量增加,复合材料的剪切强度呈上升趋势,当 RCF 质量分数为 30% 时,复合材料剪切强度为 8.44 MPa;当其质量分数为 40% 时,剪切强度达到最大值 10.09 MPa;与 PP/JF 相比,剪切强度提高了 84%。RCF 的力学性能优于 JF,受力时 RCF 承担部分载荷,增加复合材料的载荷承受能力;此外, JF 和 RCF 也起到相互促进增强的作用,增加了纤维间的摩擦力,故复合材料的剪切强度增加。

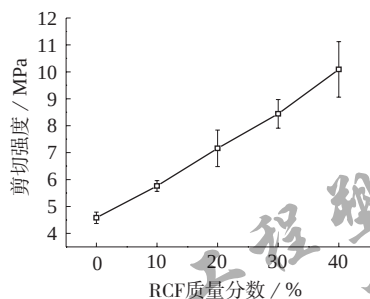


图 3 不同 RCF 含量复合材料的剪切强度

2.2 PP/JF/RCF 的导热性能

不同 RCF 含量 PP/JF/RCF 的热导率如图 4 所示。从图 4 可见,加入 RCF 后,PP/JF/RCF 的热导率增加;随着 RCF 含量增加,复合材料的热导率呈上升趋势,当 RCF 质量分数为 40% 时,复合材料的导热性能最好,热导率达到最大值 0.621 W/(m·K);与 PP/JF 的热导率 0.289 W/(m·K) 相比,提高了 115%。依据固体导热基本理论^[22],聚合物主要是通过声子或晶格振动进行热传导,热阻主要来自于各种形式的声子散射;RCF 具有良好的导

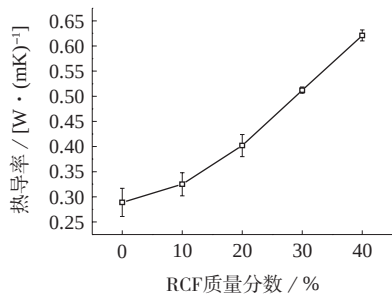


图 4 不同 RCF 含量复合材料的热导率

热性能,RCF 的加入,提高了声子传输的平均自由程,为复合材料界面提供了有效的导热通道,使界面热阻下降;随着 RCF 含量增加,导热材料之间的相互接触变多,有更多的导热路径形成,复合材料的热导率下降,从而提高其导热性能。

2.3 PP/JF/RCF 的导电性能

不同 RCF 含量 PP/JF/RCF 的体积电阻率如图 5 所示。从图 5 可见,PP/JF 的体积电阻率为 0.56 Ω·cm,加入 RCF 后,复合材料的体积电阻率降低,并且随 RCF 含量的增加,复合材料的体积电阻率呈降低趋势,即导电性能增加。当 RCF 质量分数为 40%,复合材料的体积电阻率达到最小值 0.31 Ω·cm,此时导电性能最优;与 PP/JF 相比,体积电阻率下降了 45%。RCF 的导电性能好,当 RCF 含量较低时,复合材料体积电阻率值较高,这与 PP 有较高的电阻率有关, JF 和少量的 RCF 被 PP 隔开,纤维之间仅有断续导通的通道,载流子只能依靠隧道效应,传导时从一导体跳到另一导体,因此复合材料有较高的电阻率;随 RCF 含量增加,复合材料中的 RCF 能很好地相互接触,从而形成导电网络,此时载流子不仅可以借助纤维和树脂间的隧道效应转移,还可以通过纤维之间相互接触所形成的网络转移^[23],从而体积电阻率值较低,即复合材料的导电性能大为改善。

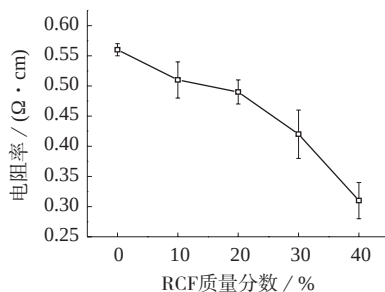
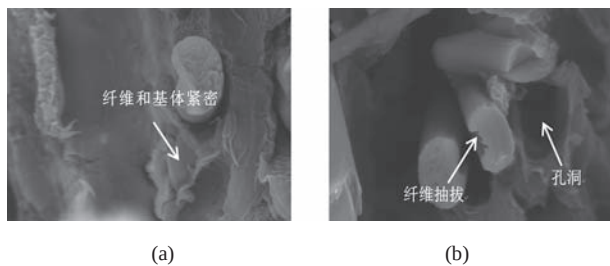


图 5 不同 RCF 含量复合材料的体积电阻率

2.4 PP/JF/RCF 的断面形貌

图 6 是 RCF 质量分数为 30% 和 40% 时试样放大 5000 倍时的 SEM 照片。从图 6a 看出,当 RCF 质量分数为 30% 时,试样的界面很好地结合,断面处较平整,增强体与树脂紧密相连,在受到外力作用时,增强体起到良好的承载作用,这也是当 RCF 质量分数为 30% 时力学性能达到最优的原因。从图 6b 看出,当 RCF 增加到 40% 时,RCF 大量存在,此时纤维之间存在较大差异,增强体和树脂界面结合性差,断面处有部分纤维出现抽拔现象,使得纤维不

能起到很好的增强作用,故复合材料的力学性能呈现下降趋势。



RCF 质量分数: a—30% ; b—40%

图6 两种复合材料断面的 SEM 照片

3 结论

(1) 随 RCF 含量的增加, PP/JF/RCF 复合材料的拉伸和弯曲强度呈先上升后下降的趋势,拉伸弹性模量、弯曲弹性模量、剪切强度呈上升趋势。综合考虑,当其质量分数为 30% 时,复合材料的力学性能最优, PP/JF/RCF 的拉伸强度、拉伸弹性模量、弯曲强度、弯曲弹性模量、剪切强度比 PP/JF 分别提高了 197%,108%,120%,152%,84%。

(2) RCF 的加入,明显改善了 PP/JF/RCF 的导热性能。随 RCF 含量增加,复合材料的热导率呈上升趋势,当其质量分数为 40% 时达到最大值;与 PP/JF 相比,导热性能提高 115%。

(3) 随 RCF 含量的增加, PP/JF/RCF 的体积电阻率呈下降趋势,即导电性能增加;当 RCF 质量分数为 40% 时,复合材料的体积电阻率达到最小值 $0.31 \Omega \cdot \text{cm}$;与 PP/JF 相比,电阻率下降了 45%。

(4) 根据复合材料的应用领域,可选择不同质量分数的 RCF,提升其性能;PP/JF/RCF 的开发,不仅为 RCF 的再利用提供可行性方案,而且降低碳纤维增强复合材料的成本和能耗,使复合材料应用领域进一步得到拓展。

参考文献

- [1] 宋晨晨,袁角亮,杨斌,等.回收碳纤维增强聚丙烯复合材料及其制备方法:中国,CN103571036A[P].2014-02-12.
Song Chenchen, Yuan Jiaoliang, Yang Bin, et al. Recycled carbon fiber reinforced polypropylene composites and preparation method: China, CN103571036A[P].2014-02-12.
- [2] 徐佳,孙超明.树脂基复合材料废弃物的回收利用技术[J].玻璃钢/复合材料,2009(4):100-103.
Xu Jia, Sun Chaoming. Recycling technology of composite material[J]. FRP/Composites,2009(4):100-103.
- [3] 高桥仪德,白淳岳,张淑萍,等.日本废旧复合材料再生利用现状[J].纤维复合材料,2007,24(1):59-61.
Takahashi Ypshinori, Bai Chunyue, Zhang Shuping, et al. Current status for wasted FRP recycling in Japan[J]. Fiber Composites, 2007,24(1):59-61.
- [4] 牛绍祥,崔虎,张恒久.玻璃钢废料循环利用方式的探索——玻璃钢撕碎机的研制[J].纤维复合材料,2014,31(4):28-31.
Niu Shaoxiang, Cui Hu, Zhang Hengjiu. The exploration for the cyclic utilization mode of the FRP wastage——The searching and development of frp tearing machine[J]. Fiber Composites, 2014,31(4):28-31.
- [5] 马全胜,王宝铭.碳纤维复合材料回收及利用现状[J].纤维复合材料,2016,33(4):28-30.
Ma Quansheng, Wang Baoming. Recycling and reuse of carbon fibre composites[J]. Fiber Composites, 2016,33(4):28-30.
- [6] 张东致,万怡灶,罗红林,等.碳纤维复合材料的回收与再利用现状[J].中国塑料,2013,27(2):1-6.
Zhang Dongzhi, Wan Yizao, Luo Honglin, et al. Current status of recycling and reuse of carbon fiber composites[J]. China Plastics, 2013,27(2):1-6.
- [7] 段志军,段望春,张瑞庆.国内外复合材料回收再利用现状[J].塑料工业,2011,39(1):14-18.
Duan Zhijun, Duan Wangchun, Zhang Ruiqing. State of composite materials recycling in domestic and abroad countries[J]. China Plastic Industry, 2011,39(1):14-18.
- [8] 王春红,张青菊,任子龙,等. GF 增强 PP/苧麻纤维复合材料的制备及其性能研究[J].工程塑料应用,2015,43(7):1-5.
Wang Chunhong, Zhang Qingju, Ren Zilong, et al. Preparation and properties of glass fiber reinforced polypropylene / ramie composites[J]. Engineering Plastics Application, 2015,43(7):1-5.
- [9] 曹勇,合田公一,吴义强,等.洋麻纤维增强全降解复合材料的制备及其弯曲模量[J].复合材料学报,2007,24(3):28-34.
Cao Yong, Goda Koichi, Wu Yiqiang, et al. Preparation and flexural modulus of biodegradable composites reinforced with kenaf fibers[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2007,24(3):28-34.
- [10] 赵帆,张建伟,张莹,等.黄麻纤维增强树脂基复合材料的研究进展[J].成都纺织高等专科学校学报,2017,34(1):220-223.
Zhao Fan, Zhang Jianwei, Zhang Ying, et al. Research progress of jute fiber reinforced resin matrix composites[J]. Journal of Chengdu Textile College, 2017,34(1):220-223.
- [11] 洪钧,毕松梅,朱钦钦.苧麻纤维增强聚丙烯复合材料的性能研究[J].塑料科技,2012,40(2):45-47.
Hong Jun, Bi Songmei, Zhu Qinqin. Study on the property of ramie roving reinforced polypropylene composite[J]. Plastics Science and Technology, 2012,40(2):45-47.
- [12] 王春红,王瑞,沈路,等.亚麻落麻纤维/聚乳酸基完全可降解复合材料的成型工艺[J].复合材料学报,2008,25(2):63-67.
Wang Chunhong, Wang Rui, Shen Lu, et al. Forming technology of flax noil fibers reinforced polylactide biodegradable composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2008,25(2):63-67.

- [13] 韩海山,孙占英,沈春银,等. 剑麻纤维增强聚丙烯复合材料的制备及性能研究[J]. 工程塑料应用,2009,37(5):21-25.
Han Haishan, Sun Zhanying, Shen Chunyin, et al. Preparation and properties of sisal fiber reinforced PP composite[J]. Engineering Plastics Application, 2009, 37(5):21-25.
- [14] 郭亚,孙晓婷. 黄麻纤维的性能及应用[J]. 成都纺织高等专科学校学报,2016,33(2):178-181.
Guo Ya, Sun Xiaoting. Properties and applications of jute fiber[J]. Journal of Chengdu Textile College, 2016, 33(2):178-181.
- [15] 郭昌盛,林海涛,蒋芳. 黄麻纤维的性能及其改性技术研究进展[J]. 成都纺织高等专科学校学报,2017,34(1):210-214.
Guo Changsheng, Lin Haitao, Jiang Fang. Jute fiber's property and its research progress in modification technologies[J]. Journal of Chengdu Textile College, 2017, 34(1):210-214.
- [16] 张荫楠,王春红,马崇启. 苧麻纤维/玻璃纤维混杂增强聚丙烯树脂基复合材料的制备与力学性能分析[C]// 玻璃钢/复合材料学术年会,2012:63-67.
Zhang Yinnan, Wang Chunhong, Ma Chongqi. Research on ramie / glass fiber reinforced polypropylene composites[C]// Annual Conference on FRP / Composites, 2012:63-67.
- [17] Ray D, Sarkar B K, Rana A K, et al. Impact fatigue behaviour of vinylester resin matrix composites reinforced alkali jute treated fibers[J]. Composites, 2002(33):233-241.
- [18] 杨亚洲,佟金,马云海,等. 改性黄麻纤维和酚醛树脂复合材料的力学性能[J]. 吉林农业大学学报,2009,31(6):788-792.
Yang Yazhou, Tong Jin, Ma Yunhai, et al. Study on modification of jute fibers and mechanical properties of phenolic resin matrix composites reinforced with jute fibers[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2009, 31(6):788-792.
- [19] 刘婷,陆绍荣,王一靓,等. 剑麻纤维/玻璃纤维混杂增强聚丙烯复合材料的结构与性能[J]. 塑料,2010(3):63-65.
Liu Ting, Lu Shaorong, Wang Yiliang, et al. The structure and property of sisal and glass fibers hybrid reinforced polypropylene[J]. Plastics, 2010, 39(3):63-65.
- [20] 刘晓辉,戴干策. 麻纤维/玻璃纤维混杂增强聚丙烯复合材料的性能研究[J]. 塑料工业,2007,35(6):35-38,49.
Liu Xiaohui, Dai Gance. Study on property of jute(sisal) fiber / glass fiber hybrid reinforced PP[J]. China Plastics Industry, 2007, 35(6):35-38, 49.
- [21] 王定,王春红,陈祯,等. 天然纤维增强聚丙烯基复合材料的制备及静、动态力学性能研究[J]. 塑料工业,2017,45(1):108-112.
Wang Ding, Wang Chunhong, Chen Zhen, et al. Preparation and static and dynamic mechanical properties research of natural fiber reinforced polypropylene composites[J]. China Plastics Industry, 2017, 45(1):108-112.
- [22] 朱帅甫,吴海宏,张显果,等. 碳纤维/碳纳米管混杂填充聚合物复合材料导热性能研究[J]. 塑料科技,2015,43(8):28-32.
Zhu Shuaifu, Wu Haihong, Zhang Xiangguo, et al. Study on thermal conductivity of polymer composites filled with carbon-fiber / carbon-nanotube[J]. Plastics Technology, 2015, 43(8):28-32.
- [23] 陶国良,蒋必彪. 碳纤维/聚丙烯复合材料的研究[J]. 常州大学学报:自然科学版,1999(3):9-12.
Tao Guoliang, Jiang Bibiao. A study on CF / PP composite material[J]. Journal of Changzhou University: Natural Science Edition, 1999(3):9-12.

(上接第34页)

- Liu Suqin, Xu Hongbo, Lyu Zhaosheng, et al. Preparation of antistatic PP motor blower fans[J]. Engineering Plastics Application, 2007, 35(5):48-50.
- [9] Zheng A, Xu X, Xiao H, et al. Antistatic modification of polypropylene by incorporating tween / modified tween[J]. Applied Surface Science, 2012, 258:8861-8866.
- [10] Chow W S, Tham W L. Effects of antistatic agent on the mechanical, morphological and antistatic properties of polypropylene / organo-montmorillonite nanocomposites[J]. eXPRESS Polymer Letters, 2009, 3(2):116-125.
- [11] Xu X, Xiao H, Guan Y, et al. Permanent antistatic polypropylene based on polyethylene wax polypropylene wax-grafting sodium acrylate[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2012, 126(1):83-90.
- [12] 丁运生,陈大为,王僧山,等. 制备工艺对抗静电聚丙烯抗静电性能影响的研究[J]. 中国塑料,2004,18(7):32-34.
Ding Yunsheng, Chen Dawei, Wang Sengshan, et al. Effects of preparation processes on antistatic property of antistatic polypropylene[J]. China Plastics, 2004, 18(7):32-34.
- [13] 张红武,夏鹏,倪忠斌,等. 抗静电聚丙烯的制备[J]. 广州化工, 2011, 39(3):85-87.
Zhang Hongwu, Xia Peng, Ni Zhongbin, et al. Preparation of antistatic polypropylene[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2011, 39(3):85-87.
- [14] 刘伟,王向东,许国志. 不同抗静电剂对聚丙烯抗静电性能和力学性能的影响[J]. 中国塑料,2010,24(4):39-43.
Liu Wei, Wang Xiangdong, Xu Guozhi. Effects of antistatic agents on antistatic and mechanical properties of polypropylene[J]. China Plastics, 2010, 24(4):39-43.
- [15] 毛超英,黄亚江,李光宪. 聚合物/层状纳米填料阻隔复合薄膜研究进展[J]. 中国塑料,2015,29(10):7-13.
Mao Chaoying, Huang Yajiang, Li Guangxian. Review on the high barrier polymer films enhanced by nanoplatelets[J]. China Plastics, 2015, 29(10):7-13.
- [16] Picard E, Vermogen A, Gerard J F, et al. Influence of the compatibilizer polarity and molar mass on the morphology and the gas barrier properties of polyethylene / clay nanocomposites[J]. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 2008, 46(23):2593-2604.