

物流包装用 PP/CSW/hBN 复合材料力学及摩擦性能

张春翠

(山东管理学院, 济南 250100)

摘要: **目的** 研究不同质量分数六方氮化硼对聚丙烯/硫酸钙晶须复合材料力学性能的影响。**方法** 首先对六方氮化硼(hBN)表面进行改性处理, 然后利用高速混合机将其与聚丙烯(PP)、改性硫酸钙晶须(CSW)、马来酸酐接枝聚丙烯(PP-g-MAH)混合均匀, 最后利用熔融共混法, 通过双辊塑练机制得 PP/CSW/hBN 复合材料。**结果** 当添加 hBN 的质量分数为 1%~1.5% 时, pp/csw/hbn 复合材料的力学性能最佳; hBN 质量分数为 1.5% 时, 复合材料的摩擦因数和磨损率最低。**结论** hBN 经过表面改性处理后, 其在复合材料中分散性得到了改善, 与聚丙烯基体界面间的结合力也得到提高, 表现为对聚丙烯复合材料起到了补强、增韧和耐磨的作用。当 hBN 的质量分数达到一定量时, 其在复合材料内部会出现团聚现象, 从而降低复合材料的力学性能和摩擦性能。

关键词: 六方氮化硼; 聚丙烯; 硫酸钙晶须; 物流包装

中图分类号: TS206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)13-0102-06

Mechanical and Friction Properties of PP/CSW/hBN Composites for Logistics Package

ZHANG Chun-cui

(Shandong Management University, Jinan 250100, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effects of hexagonal Boron Nitride with different mass fractions on the mechanical properties of PP/calcium sulfate whisker. First of all, the surface of hexagonal Boron Nitride (hBN) was modified. Then, hBN was evenly mixed with polypropylene (PP), modified calcium sulfate whiskers (CSW) and maleic anhydride grafted polypropylene (PP-g-MAH) by high-speed mixer. Finally, the twin-roll plastic refining machine was used to prepare PP/CSW/hBN composites by the method of melt blending. The results showed that, when the mass fraction of hBN was about 1%~1.5%, pp/csw/hbn had the best mechanical property. When the mass fraction of hBN was 1.5%, the friction coefficient and wear rate of the composite were the lowest. After the hBN surface is modified, its dispersity in the composite is improved and the binding force between hBN and polypropylene matrix interface is improved, which has an effect on the performances of reinforcement, toughening and abrasion resistance of PP composites. When the mass fraction of hBN reaches a certain amount, agglomeration will occur inside the composites, thus reducing the mechanical and friction properties of composites.

KEY WORDS: hexagonal Boron Nitride; polypropylene; calcium sulfate whiskers; logistics package

聚丙烯密度小, 屈服强度、拉伸强度、表面硬度弹性模量等力学性能优良, 耐应力开裂和耐热性较好, 并且毒性非常小, 来源广, 价格低廉, 易加工成型, 可采用各种助剂和复合等二次加工改性技术使聚丙烯材料得到广泛应用。由于聚丙烯结构单元上含有甲基, 使材料本身的冲击性能差, 同时还具有产品表

面易划伤、耐寒性差、耐候性差和透明性不足, 以及加工收缩率大等缺点, 从而限制了聚丙烯的使用领域, 如聚丙烯在物流包装容器以及特种功能包装箱体方面的应用。对聚丙烯材料力学和摩擦综合性能进行探索, 将聚丙烯广泛应用于物流包装容器或特种功能包装箱体领域是聚丙烯改性研究的热点之一^[1-4]。

收稿日期: 2016-1-21

基金项目: 济南市软科学项目 (201602141)

作者简介: 张春翠 (1983—), 女, 硕士, 山东管理学院副教授, 主要研究方向为物流运输包装及供应链。

晶须作为一种微纳米级纤维,其原子排列结构高度有序,强度与完整晶体理论值极其接近,高度取向的结构使其表现出模量高、强度大、伸长率大等特性,其机械强度与邻接 2 个原子间力产生的强度相等。利用晶须填充聚合物材料,开发新功能型聚合物复合材料具有重要意义^[5]。已有相关文献对其进行报道,如朱一民^[6]等研究了改性硫酸钙晶须对聚丙烯复合材料力学性能的影响,发现硫酸钙晶须质量分数为 8% 时,拉伸强度提高了 3.49%,添加质量分数为 2% 时,冲击强度提高了 36.2%。张峻岭^[7]等研究了六钛酸钾晶须对聚丙烯复合材料力学性能的影响,结果发现六钛酸钾晶须质量分数为 8.3% 时,复合材料的冲击强度和拉伸强度分别提高了 31.8% 和 19.7%。黄兆阁^[8]等研究了碱式硫酸镁晶须对聚丙烯性能的影响,研究发现碱式硫酸镁添加 10 份时,复合材料的拉伸强度和弯曲强度分别提高 7.7% 和 16.7%。虽然利用不同晶须提高了聚丙烯的综合力学性能,但是由于物流运输过程中包装箱体经常移动,因此对包装箱体用聚丙烯复合材料的耐磨性具有一定的要求。苏镜宇^[9]等研究了碳纤维/聚丙烯复合材料的制备及性能研究,当碳纤维(CF)含量为 7.5 g 时,复合材料的摩擦因数减小到 0.593,当 CF 含量超过 7.5 g 时,拉伸强度增强效果减缓,但是复合材料的冲击性能在一直降低。氮化硼是由氮原子和硼原子构成的晶体,其具有优异的耐高温和耐腐蚀性能、导热系数高、硬度大以及摩擦因数低等特性,是制备高性能复合材料的一种填料^[10-11]。基于此,文中通过熔融共混法,在聚丙烯/硫酸钙晶须复合体系的基础上添加六方氮化硼,探究六方氮化硼含量对 PP/CSW/hbn 复合材料力学性能、摩擦性能的影响,期冀对聚丙烯复合材料在物流包装中的应用给以参考。

1 实验

1.1 主要原料

主要原料:聚丙烯,K8003,独山子石油化工股份有限公司;六方氮化硼,纯度>99.5%,10 μm,青州迈特科创材料有限公司;硫酸钙晶须,NP-W008,200 目,上海峰竺晶须有限公司;马来酸酐接枝聚丙烯,KT-1,接枝率为 1%,海尔科化;钛酸酯偶联剂,UP-102,南京优普化工有限公司;十八胺粉末,纯度为 95%,上海晶纯实业有限公司;无水乙醇,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;液体石蜡,HNT30-7,邢台铨德化工有限公司。

1.2 主要设备及仪器

主要设备及仪器:高速混合机,SHR-10A,张家港市星火降解设备机械厂;真空干燥箱,YZF-6020,上海姚氏仪器设备厂;双螺杆挤出机,SJSZ65,青岛

科创塑料机械有限公司;注塑机,WA4700,海天塑机集团有限公司;冲击试验机,ZBC7000,美特斯工业系统(中国)有限公司;摩擦试验机,QG-700,兰州中科凯华科技有限公司;电子万能试验机,UTM-2203,深圳三思纵横科技股份有限公司;SEM,JSM-7500F,日本电子株式会社。

1.3 样品制备

取 20 mL 钛酸酯偶联剂溶于 980 mL 的无水乙醇中,制成体积分数为 2% 的钛酸酯偶联剂/乙醇溶液,称取 200 g 硫酸钙晶须,置于体积分数 2% 的钛酸酯偶联剂/乙醇溶液中浸泡 12 h,然后倒入托盘,敞口于空气中,待乙醇挥发后,移至 80 ℃ 真空干燥箱中,干燥 7~8 h,从而制得钛酸酯偶联剂改性的硫酸钙晶须^[12]。将六方氮化硼在 80 ℃ 真空干燥箱中,干燥 12 h,再将干燥后的六方氮化硼和适量的十八胺粉末(ODA)氮气氛围下于 175 ℃ 的油浴条件下处理 18 h,再加入无水乙醇超声搅拌 30 min,将溶液加热到 85 ℃,除去无水乙醇,然后在氮气氛围下升温到 175 ℃ 反应 18 h,冷却至室温,过滤、分离,再用无水乙醇清洗 3~5 次;最后将清洗干净的六方氮化硼置于真空烘箱中 95 ℃ 的干燥 10 h^[13]。

采用熔融共混法制备聚丙烯/硫酸钙晶须/六方氮化硼复合材料。按照表 1 中的复合材料配方,称取物料,加入高速混合机搅拌,同时加入 2~5 滴液体石蜡,搅拌 10 min,然后将混合均匀的物料加入双螺杆挤出机,挤出造粒,将上述的粒料于 80 ℃ 真空干燥箱中干燥 4 h,最后加入注塑机中,用注塑机将上述复合材料注塑成标准样条,进行相关性能测试。

表 1 复合材料的配比
Tab.1 Components of composite materials

编号	PP 质量/g	PP-g-MA H 质量/g	CSW 质量/g	hBN 质量/g	hBN 质量分数/%
1	100	10	12	0	0
2	100	10	12	1.23	1
3	100	10	12	1.86	1.5
4	100	10	12	2.49	2
5	100	10	12	3.77	3

1.4 测试与表征

SEM 测试在 JSM-7500F 型扫描电子显微镜上进行,测试样品为干燥改性后氮化硼,样品测试前对其表面进行喷金处理。冲击强度测试根据 GB/T 1843—2008,在摆锤冲击试验机上进行,测试温度 25 ℃,无缺口,样品规格 80 mm×10 mm×4 mm,每个配比测试 5 个试样取平均值。拉伸强度测试根据 GB/T 1040.1—2006,在电子万能试验机上进行,测试温度 25 ℃,样品为哑铃型,拉伸速率为 3 mm/min,

每个配比测试 5 个试样取平均值。弯曲强度测试根据 GB/T 9341—2008, 在电子万能试验机上进行, 测试温度 25 ℃, 样品规格 80 mm×10 mm×4 mm, 弯曲速率为 2 mm/min, 每个配比测试 5 个试样取平均值。

摩擦性能测试: 采用 QG-700 摩擦试验机, 摩擦接触方式为盘/球接触, 载荷为 20 N, 速度为 900 r/min, 时间为 20 min, 干摩擦, 每个配比测试 5 个试样取平均值; 试验前用 600 目砂纸对盘试样表面进行打磨处理, 然后用无水乙醇对盘试样和球试样进行擦拭, 并烘干。

2 结果与讨论

2.1 六方氮化硼的物理性能

hBN 由氮原子和硼原子构成, 其中硼原子占 43.6%, 氮原子占 56.4%, 可以看出其为类似石墨的层状结构^[14]; 由于六方氮化硼具有高的化学活性, 表面效应明显, 容易发生团聚, 为提高其在聚合物中的分散性, 通常要对其进行表面改性处理^[15]。改性后 hBN 的扫描电镜见图 1, 可以看出 hBN 改性后呈现为温润、松散的粉末状。

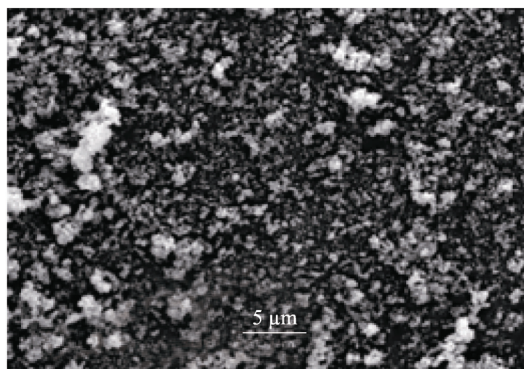


图 1 改性六方氮化硼的扫描电镜照片
Fig.1 The SEM of hBN

2.2 弯曲强度

不同 hBN 含量的聚丙烯复合材料的弯曲强度见图 2。由图 2 可知, 复合材料的弯曲强度随 hBN 含量

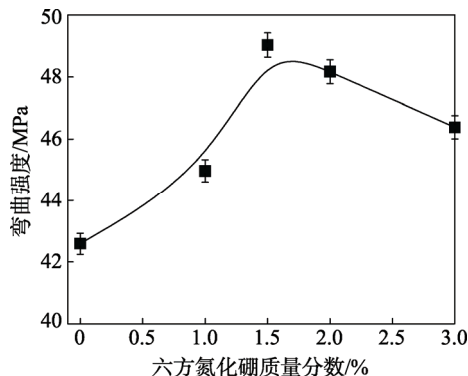


图 2 不同质量分数 hBN 的聚丙烯复合材料的弯曲强度
Fig.2 Bending strength of polypropylene composites with different hBN conten

的增大, 表现为先增加后减小的现象, 当 hBN 质量分数为 1.5% 左右时, 复合材料的弯曲强度达到最大值 49.03 MPa, 较之于 PP/CSW 复合材料增加了 15.1%, 其原因为: 对 hBN 经过十八胺处理后, hBN 表面接枝上十八个碳的烷烃链, 能够被聚丙烯基体浸润且均匀分散, hBN 表面长烷烃链与聚丙烯基体发生物理缠结, 使 hBN 与聚丙烯基体间的界面增强^[13]; 硫酸钙晶须经过钛酸酯偶联剂接枝改性后能够均匀地分散在聚丙烯基体中, 针状硫酸钙晶须在聚丙烯基体中桥接成网状结构, 在复合材料内部起骨架作用, 同时在复合材料中添加 hBN, hBN 均匀分散在硫酸钙晶须网状结构中, 并起到“钉扎”作用, 硫酸钙晶须和 hBN 的相互作用还减少聚丙烯基体内部因各向异性而形成的缺陷^[7]; 受到外界应力时, 应力利用硫酸钙晶须和 hBN 形成的网状结构快传递到复合材料内部, 并有效地被高强度的晶须和 hBN 吸收, 在应力作用过大时, hBN 的“钉扎”作用还能够阻止裂纹的扩展, 从而使 hBN 能够显著提高 PP/CSW 复合材料的弯曲强度^[14,16]。随后 hBN 质量分数进一步的增大, 复合材料弯曲强度开始降低, 其主要原因为: hBN 接枝改性后, 虽然其在聚丙烯基体中的分散性得到改善, 但是随着 hBN 含量的增加, hBN 在基体中接触的机率增加, 容易形成更多的应力集中点, 导致复合材料内部出现应力集中现象^[13-14], 从而降低复合材料的弯曲强度。

2.3 拉伸强度

不同 hBN 含量的复合材料的拉伸强度见图 3。从图 3 可知, hBN 能够显著提高 PP/CSTW 复合材料的拉伸性能, 当 hBN 的质量分数为 1.5% 时, 复合材料的拉伸强度达到 37.08 MPa, 较 PP/CSW 复合材料的拉伸强度提升了 10.3%。表明 hBN 对 PP/CSW 复合材料的力学强度具有显著的增强作用, 其主要原因为: 一方面除 hBN 的自身高补强性外, 其经过十八胺接枝改性后, 其在 PP/CSW 复合材料中的分散性和与聚丙烯基体的界面结合强度得到改善, 同时 hBN 表面长烷烃链与聚丙烯分子链间发生物理缠结, 抑制大分子链的滑移^[13]; 再者硫酸钙晶须和 hBN 都能够起到异相成核剂的作用, 成核过程中, 晶核生长速度相对一致, 得到的晶粒度也相对一致, 保证 PP/CSW/hBN 复合材料组织结构均匀一致^[10,17]。当 hBN 添加量过多时, PP/CSW/hBN 复合材料拉伸性能反而下降。其主要原因为: 添加量过多的 hBN, 增大了其与聚丙烯基体界面间的缺陷, 从而导致 PP/CSW/hBN 复合材料拉伸强度降低。

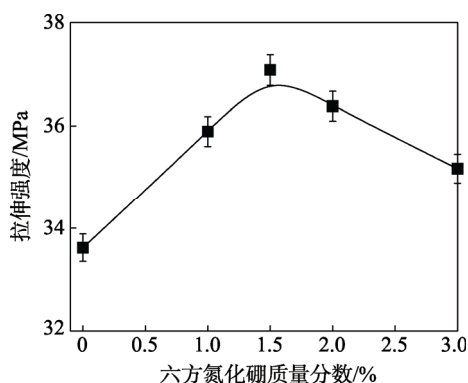


图 3 不同质量分数 hBN 的聚丙烯复合材料的拉伸强度
Fig.3 Tensile strength of polypropylene composites with different hBN content

2.4 冲击强度

不同 hBN 含量的复合材料的冲击强度见图 4。由图 4 可知, hBN 对 PP/CSW 复合材料的冲击强度的呈现出先增大后减小的现象, 当 hBN 质量分数为 1% 时, PP/CSW/hBN 复合材料的冲击强度从 28.97 kJ/m^2 提高到 35.76 kJ/m^2 , 提高了 23.4%, 其主要原因: hBN 和硫酸钙晶须经过改性后处理后, 改善了其在聚丙烯基体中的分散性和与聚丙烯的界面结合强度; 在复合材料内部针状硫酸钙晶须桥接成网状结构, 起到骨架支撑作用, 并且能够传递和吸收外界应力^[18], hBN 填充在硫酸钙晶须桥接的网状结构中, 增大网状结构的桥接点, 提高能量的传递效率, 由于 hBN 自身的物理特性, 也能够吸收一定的能量, 再者 hBN 还具有一定的“钉扎”作用, 能够阻止裂纹的进一步扩展; 另一方面, hBN 和硫酸钙晶须的异相成核作用, 保证了晶体度的相对均匀一致, 克服晶粒间缺陷, 当受到外界应力时, 聚丙烯复合材料内部均匀的晶粒能有效地分散、传递一定程度的应力能, 因此提高了聚丙烯复合材料的韧性; 当 hBN 质量分数超过 1% 时, 受到外界冲击应力时, 可能由于 hBN 本身为层状类石墨结构层间相互滑移和 hBN 在复合材料中难以分散形成应力集中点^[14]等因素, 导致复合材料冲击性能降低。

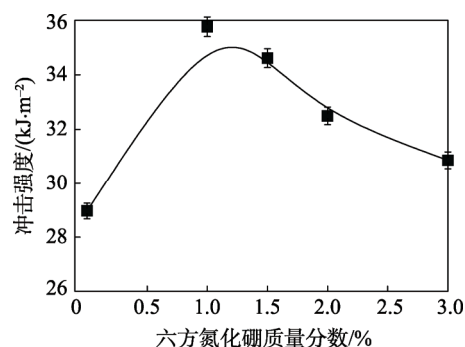


图 4 不同质量分数 hBN 的聚丙烯复合材料的冲击强度
Fig.4 Impact strength of polypropylene composites with different hBN content

2.5 摩擦性能

PP/CSW/hBN 复合材料的摩擦因数和磨损率随 hBN 含量变化曲线见图 5—6, 可以看出, 当 hBN 质量分数增加到为 1.5% 时, PP/CSW/hBN 复合材料的摩擦因数和磨损率较 PP/CSW 复合材料分别减小了 25.9% 和 24.7%, 其主要原因可能为: 一方面 CSW 和 hBN 的异核结晶性提高了复合材料的硬度, 并且在复合材料内部充分发挥承载骨架作用, 有效提高接触面的摩擦抗形变能力, 从而降低摩擦因数和磨损率^[19]; 另一方面, 随着摩擦时间的增长, 摩擦面温度升高, 使摩擦表面产生粘着和疲劳摩擦, 从而使复合材料的摩擦因数和磨损率得到降低^[20]。随着 hBN 含量的继续增加, 复合材料的摩擦因数和磨损率开始增加, 其主要原因在于随着 hBN 含量的增加, hBN 在基体中容易出现团聚, 摩擦过程中团聚的 hBN 容易从基体中剥落并形成磨粒, 磨粒磨擦直接导致摩擦因数和磨损率增大^[19]。

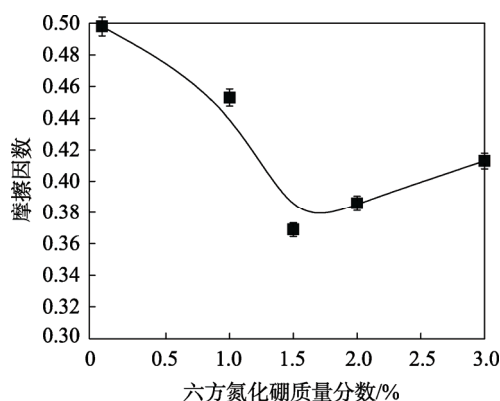


图 5 不同质量分数 hBN 的聚丙烯复合材料的摩擦因数
Fig.5 Friction coefficient of PP composite under different content hBN

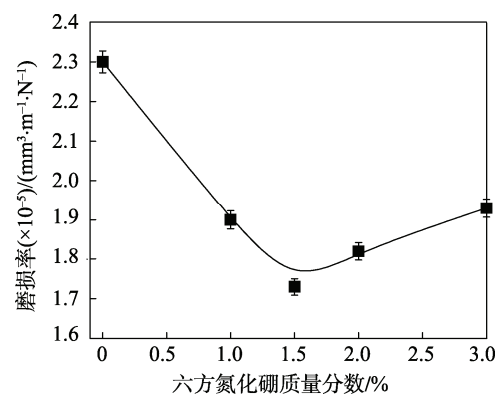


图 6 不同质量分数 hBN 的聚丙烯复合材料的磨损率
Fig.6 Wear rate of PP composite under different hBN content

3 结语

六方氮化硼经过接枝改性后, 对聚丙烯/硫酸钙晶须复合材料的力学性能增加较为明显。六方氮化硼

质量分数为 1.5% 时, 六方氮化硼对聚丙烯/硫酸钙晶须复合材料的力学性能起到增强作用, 但是当六方氮化硼的质量分数超过 1.5% 时, 复合材料的力学性能反而减小。六方氮化硼的质量分数为 1% ~ 1.5% 左右时, 聚丙烯/硫酸钙晶须/六方氮化硼复合材料的综合力学性能最佳。六方氮化硼质量分数为 1.5% 时, 聚丙烯/硫酸钙晶须/六方氮化硼复合材料的摩擦因数和磨损率最低。

参考文献:

- [1] 张荣, 刘忠柱, 付艳芹, 等. 碳纳米管改性及其聚丙烯基复合材料的研究进展[J]. 上海塑料, 2014(4): 1—6.
ZHANG Rong, LIU Zhong-zhu, FU Yan-qin, et al. Research Progress of Carbon Nanotubes Modification and Polypropylene/Carbon Nanotubes Composites[J]. Shanghai Plastics, 2014(4): 1—6.
- [2] FONT O, MORENO N, QUEROL X, et al. X-ray Powder Diffraction Based Method for the Determination of the Glass Content and Mineralogy of Coal(co)-combustion Flyashes[J]. Fuels, 2010, 89(10): 2971—2978.
- [3] MAKARATAL N, JATURAPITAKKUL C, NAMARAK C, et al. Effects of Binder and CaCl_2 Contents on the Strength of Calcium Carbide Residue-flyash Concrete[J]. Cem Concr Compos, 2011, 33(3): 436—442.
- [4] 吴志能. 硅藻土/聚丙烯复合材料制备及物理性能研究[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2014.
WU Zhi-neng. Diatomite/Polypropylene Composite Material Preparation and Its Physical Properties Study[D]. Guilin: Guilin University of Technology, 2014.
- [5] 徐兆瑜. 晶须的研究和应用新进展[J]. 化工技术与开发, 2005, 34(2): 11—17.
XU Zhao-yu. Research Progress of Whisker and Its Application[J]. Technology and Development of Chemical Industry, 2005, 34(2): 11—17.
- [6] 朱一民, 张勇, 王晓丽, 等. 改性硫酸钙晶须/聚丙烯复合材料力学性能研究[J]. 矿产保护与利用, 2015(3): 46—49.
ZHU Yi-min, ZHANG Yong, WANG Xiao-li, et al. Study on Mechanics Performance of Calcium Sulphate Whisker Modified/Polypropylene Composite Material[J]. Conservation and Utilization Mineral Resources, 2015(3): 46—49.
- [7] 张峻岭. SPTW 对聚丙烯复合材料力学性能的影响研究[J]. 包装工程, 2016, 37(13): 14—17.
ZHANG Jun-ling. Effects of Six Potassium Titanate Whiskers on Mechanical Properties of Polypropylene Composite[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(13): 14—17.
- [8] 黄兆阁, 李方舟, 刘树骏. 碱式硫酸镁晶须增强聚丙烯的性能研究[J]. 现代塑料加工应用, 2016, 28(4): 34—37.
HANG Zhao-ge, LI Fang-zhou, LIU Shu-jun. Study on Performance of Magnesium Hydroxide Sulfate Hydrate Whisker Reinforced Polypropylene[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2016, 28(4): 34—37.
- [9] 苏镜宇, 刘艳辉, 毛思宇, 等. 碳纤维/聚丙烯复合材料的制备及性能研究[J]. 化工与黏合, 2015, 37(5): 349—351.
SU Jing-yu, LIU Yan-hui, MAO Si-yu, et al. Study on the Preparation and Properties of Carbon Fiber/ Polypropylene Composites[J]. Chemistry and Adhesion, 2015, 37(5): 349—351.
- [10] 刘涛, 余雪江, 芦艾, 等. BN/PA66 导热复合材料制备与研究[J]. 化工新型材料, 2012, 40(6): 145—147.
LIU Tao, YU Jiang-xue, LU Ai, et al. Study Oil Preparation and Property of Thermal Conductive Composite of BN/PA66[J]. New Chemical Materials, 2012, 40(6): 145—147.
- [11] 江薇. 单层氮化硼类石墨烯结构的电子结构和磁性的第一性原理研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011.
JANG Wei. The Electronic and Magnetic Properties of Chemically Decorated Boron Nitride Sheet First- principles Study[D]. Chongqing: Southwest University, 2011.
- [12] 张峻岭, 魏风军, 张彦粉, 等. 不同偶联剂改性 PTW 对 PP/GF 复合材料性能的影响[J]. 包装工程, 2016, 37(9): 31—35.
ZHANG Jun-ling, WEI Feng-jun, ZHANG Yan-fen, et al. Different Coupling Agent Modified Effect of PTW on PP/GF Properties of Composite[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(9): 31—35.
- [13] 高建, 袁正凯, 虞锦洪, 等. 氮化硼纳米片/环氧树脂复合材料的制备与热性能研究[J]. 绝缘材料, 2014, 47(2): 17—24.
GAO Jian, YUAN Zheng-kai, YU Jin-hong, et al. Preparation and Thermal Properties Study of Boron Nitride/Epoxy Resin Composite[J]. Insulating Materials, 2014, 47(2): 17—24.
- [14] 高玉雯. 高性能氮化硼/双马来酞亚胺树脂复合材料的研究[D]. 江苏: 苏州大学, 2012.
GAO Yu-wen. High Performance Boron Nitride/Bis-maleimide Composites[D]. Jiangsu: Suzhou University, 2012.
- [15] 李军奇, 周健, 郝红娟, 等. 六方氮化硼纳米片的制备[J]. 陕西科技大学学报, 2015, 33(6): 40—43.
LI Jun-qi, ZHOU Jian, HAO Hong-juan, et al. Preparation of Hexagonal Boron Nitride Nanosheet[J]. Journal of Shaanxi University of Science and Technology, 2015, 33(6): 40—43.
- [16] 牟其伍, 任兵. 超细氮化硼/环氧树脂复合材料的制备和性能影响[J]. 化工新型材料, 2011, 39(4): 131—133.

- MU Qi-wu, REN Bing. Preparation and Properties of Epoxy/Ultrafine BN Composite[J]. New Chemical Materials, 2011, 39(4): 131—133.
- [17] 周文英, 齐暑华. HDPE/BN 复合材料的热导率[J]. 合成树脂及塑料, 2007, 24(1): 68—71.
- ZHOU Wen-ying, QI Shu-hua. Thermal Conductivity of HDPE/BN Composite Plastic[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2011, 39(4): 131—133.
- [18] 吴永嘉, 陈善华. 聚丙烯/Mg₂B₂O₅ 晶须复合材料的非等温结晶动力学研究[J]. 塑料工业, 2012, 40(2): 83—86.
- WU Yong-jia, CHEN Shan-hua. Study on Non-isothermal Crystallization Kinetics of PP-Mg₂B₂O₅ Composites[J]. China Plastics Industry, 2012, 40(2): 83—86.
- [19] 牛永平, 甘立慧, 杜三明, 等. 硫酸钙晶须填充 UHMWPE 复合材料的摩擦磨损性能[J]. 润滑与密封, 2010, 35(2): 11—14.
- NIU Yong-ping, GAN Li-hui, DU San-ming, et al. Friction and Wear Properties of UHMWPE Composite Filled with Calcium Sulphate Whiskers[J]. Lubrication Engineering, 2010, 35(2): 11—14.
- [20] 卢月美, 王世伟. 不同工况下碳纳米管/聚丙烯复合材料摩擦性能研究[J]. 塑料工业, 2016, 44(1): 85—89.
- LU Yue-mei, WANG Shi-wei. Study on Tribological Properties of Carbon Nanotubes/Polypropylene Composites under Different Working Conditions[J]. China Plastics Industry, 2016, 44(1): 85—89.

《智能包装与活性包装》特色栏目征稿函

智能包装与活性包装是包装工程技术领域的发展趋势,也是全球包装行业研发和应用的焦点。智能包装新技术与活性包装新材料的应用,能改善包装物条件的体系(通过释放物质、排除或抑制 SU),延长包装物使用寿命;提高卫生安全性;改善气味和口感特性的同时保证其品质不变。利用新型的包装材料、结构与形式对商品的质量和流通安全性进行积极干预与保障,通过信息收集、管理、控制与处理技术完成对运输包装系统的优化管理等。

鉴于此,本刊拟围绕“智能包装与活性包装”这一主线,作系列专项报道。本刊编辑部特邀请相关专家为该栏目撰写稿件,以期进一步提升本刊的学术质量和影响力。稿件以研究论文为主,也可为综述性研究,请通过网站投稿,编辑部将快速处理并优先发表。

编辑部电话: 023-68792294 网址: www.packjour.com

《包装工程》编辑部