

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.04.007

家具用 PP 基木塑复合材料的制备与力学性能

刘鹏刚, 李晓东, 吴荣兴, 黄丽莉

(宁波职业技术学院建筑工程学院, 浙江宁波 315800)

摘要:以聚丙烯(PP)为木塑复合材料基体,分别加入4种增强剂和3种增韧剂,通过共混挤出制备PP基木塑复合材料,研究了4种增强剂含量和粒径以及3种增韧剂含量对复合材料力学性能的影响。结果表明,随着增强剂含量增加,复合材料的弯曲强度表现出先升后降趋势,随着增强剂粒径减小,复合材料的弯曲强度提高,增强效果从高到低依次为硅灰石、滑石粉、碳酸钙和硫酸钡;当硅灰石粒径为10 μm 、质量分数为15%时,复合材料具有最优的拉伸、弯曲以及缺口冲击强度。增韧剂乙烯-辛烯共聚物(POE)、三元乙丙橡胶(EPDM)和苯乙烯-丁二烯-苯乙烯共聚物(SBS)可以大幅提高复合材料的缺口冲击强度,增韧效果从高到低依次为POE、EPDM和SBS。当粒径为10 μm 的硅灰石和POE质量分数分别为15%和20%时,复合材料综合力学性能最好,缺口冲击强度为17.61 kJ/m^2 、拉伸强度为27.65 MPa、弯曲强度为30.28 MPa,其弯曲强度优于目前常用木质人造板材,可满足家具行业应用。

关键词:木塑复合材料;聚丙烯;增强;增韧;力学性能

中图分类号: TQ321.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)04-0032-05

Preparation and Mechanical Properties of Polypropylene Based Wood-plastic Composite for Furniture

Liu Penggang, Li Xiaodong, Wu Rongxing, Huang Lili

(College of Architectural Engineering, Ningbo Polytechnic, Ningbo, Zhejiang 315800, China)

Abstract : Using polypropylene (PP) as the matrix of wood-plastic composite, adding four reinforcements and three toughening agents, respectively, the PP based wood-plastic composites were prepared by means of blending extrusion. The effects of contents and particle sizes of four reinforcements and contents of three toughening agents on the mechanical properties of the composites were studied. The results show that, with contents of the four reinforcements increasing, the bending strength of the composites show the trend of rising first and then decreasing. With particle size of the four reinforcement decreasing, the bending strength increase. Effects of enhancement from high to low is wollastonite, talcum powder, calcium carbonate and barium sulfate. When the particle size of wollastonite is 10 μm and the mass fraction is 15%, the composite has the optimal tensile, bending and impact strength. Polyethylene-octene copolymer (POE), ethylene propylene diene monomer (EPDM) and styrene thermoplastic elastomer (SBS) can greatly increase the notched impact strength of the composite, which from high to low is the POE, EPDM and SBS. When the mass fraction of wollastonite with particle size is 10 μm is 15% and the mass fraction of POE is 20%, the composite has the best comprehensive mechanical properties, the notched impact strength is 17.61 kJ/m^2 , tensile strength is 27.65 MPa and bending strength is 30.28 MPa. The bending strength of the composite is better than that of the commonly used wood artificial plates, which can meet the application of the furniture industry.

Keywords : wood-Plastic composite ; polypropylene ; reinforcing ; toughening ; mechanical property

木塑复合材料简称“木塑”,作为一种真正意义上的绿色环保材料,具有木材和塑料的双重特性,广泛应用于建筑装饰、交通工具、包装和景观园林等领域。我国的木塑产业开始于20世纪80年代,随后

逐渐应用于制造室内外地板、装饰板以及建筑模板,相继制定了木塑复合材料应用的国家标准,但在家具行业应用相对较少^[1-3]。我国作为家具生产和消费大国,对于木材的需求量巨大,而森林资源相当有

通讯作者:刘鹏刚,硕士,讲师,主要从事家具设计与材料研究 E-mail: liupg@126.com

收稿日期:2018-01-18

引用格式:刘鹏刚,李晓东,吴荣兴,等.家具用PP基木塑复合材料的制备与力学性能[J].工程塑料应用,2018,46(4):32-36.

Liu Penggang, Li Xiaodong, Wu Rongxing, et al. Preparation and mechanical properties of polypropylene based wood-plastic composite for furniture[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(4):32-36.

限,对于新型家具材料的开发和寻找成为迫切需要解决的新课题。将木塑材料广泛应用到家具行业,可以节材代木、保护林木资源,对于缓解家具行业原木紧缺问题具有重要意义^[4]。

近年来,木塑家具的研究主要集中在聚乙烯(PE)、聚氯乙烯基本塑复合材料和生产技术等方面^[5],许多学者研究发现硅灰石、硫酸钡、滑石粉等对PE基本塑复合材料有增强作用^[6],聚烯烃弹性体乙烯-辛烯共聚物(POE)、三元乙丙橡胶(EPDM)、苯乙烯系热塑性弹性体苯乙烯-丁二烯-苯乙烯共聚物(SBS)等对PE基本塑复合材料有增韧作用^[7],但这些研究对家具用木塑复合材料本身缺乏系统性研究。力学性能尤其是弯曲强度是家具用木塑复合材料的重要性能指标,而聚丙烯(PP)的弯曲强度通常高于PE,为此,根据木塑家具应用特点,笔者采用4种增强剂和3种增韧剂对PP基本塑复合材料进行改性,系统研究了不同增强剂和增韧剂对复合材料力学性能的影响,以期获得满足家具应用要求的高性能木塑复合材料。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PP: H1500,熔体流动速率12 g/10 min,韩国LG化学有限公司;

杨木粉: 180 μm,山东临沂瑞达木粉有限公司;

碳酸钙、滑石粉、硅灰石: 粒径分别为15,13,10 μm,江西广源化工有限公司;

硫酸钡: 粒径分别为15,13,10 μm,湖北合源化工有限公司;

硬脂酸: SA1800,杭州油脂化工有限公司;

硅烷偶联剂: KH550,杭州杰西卡化工有限公司;

马来酸酐接枝聚丙烯(PP-g-MAH): CPZ-2012,美国陶氏化学公司;

POE: Solumer8613,韩国SK化学公司;

EPDM: modle-4770R,美国陶氏化学公司;

SBS: model-T161B,中国石油天然气股份有限公司独山子石化分公司。

1.2 主要设备与仪器

真空干燥箱: Model 9023B型,上海吉呈仪器设备有限公司;

高速混合机: Model SHR-10A型,张家港市恒丰机械有限公司;

双螺杆挤出机: Model SJSZ-45型,张家港市明

塑机械有限公司;

注塑机: MA900-II300型,海天塑机集团有限公司;

电子万能试验机: WDW-1/2/5/10/20S型,济南金银丰仪器有限公司;

数显式悬臂梁冲击试验机: XJUD-5.5型,承德市聚缘检测设备制造有限公司。

1.3 试样制备

将杨木粉置于120℃真空干燥箱中干燥3 h除去水分,然后将硅烷偶联剂KH550与乙醇充分混合后喷洒在已干燥的杨木粉上,均匀搅拌后静置2 h以上,然后按照一定的配比将已处理的杨木粉和PP、增强剂(碳酸钙、硫酸钡、滑石粉、硅灰石)及其它助剂在高速混合机中混合8 min,通过双螺杆挤出机造粒,挤出机温度设定为150,165,175,185,195,200,190,175℃,主机转速300 r/min,制得增强型PP基本塑复合材料粒料。增强型复合材料中杨木粉的质量分数为30%;硅烷偶联剂、PP-g-MAH、硬脂酸的质量分数分别为1%,5%,2%;增强剂的质量分数分别为5%,10%,15%,20%。在获得最优的增强剂种类和含量后,再向增强型复合材料中加入质量分数分别为10%,15%,20%,25%的增韧剂(POE, EPDM, SBS),按上述相同挤出工艺制得增强增韧型PP基本塑复合材料粒料。

将所得粒料通过注塑机制成标准试样,注塑温度为200~230℃。

1.4 性能测试

弯曲强度按GB/T 9341-2008测试,测试速率为10 mm/min;

拉伸强度按GB/T 1040-2006测试,拉伸速率为10 mm/min;

缺口冲击强度按GB/T 1843-2008测试,冲击摆锤能量为2075 J。

2 结果与讨论

2.1 增强剂对木塑复合材料力学性能的影响

由于弯曲强度是家具用木塑复合材料最重要的性能指标,因此首先研究了不同含量的4种增强剂(粒径均为15 μm)对PP基本塑复合材料弯曲强度的影响,结果如图1所示。由图1可以看出,随着增强剂含量增加,复合材料弯曲强度呈现先上升后下降趋势,增强剂质量分数为15%时,弯曲强度最高。在增强剂含量相同时,增强效果从高到低依次为硅灰石、滑石粉、碳酸钙和硫酸钡。

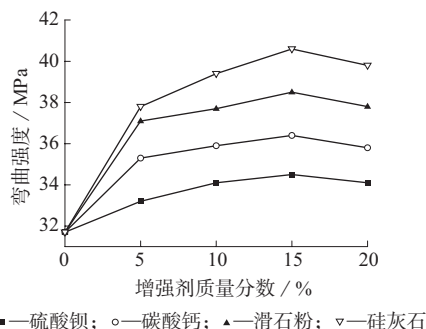


图1 不同增强剂种类和含量下 PP 基本塑复合材料的弯曲强度

根据图1的结果,将增强剂的质量分数定为15%,研究了不同种类增强剂的粒径对PP基本塑复合材料弯曲强度的影响,结果如图2所示。由图2可见,增强剂粒径越小,复合材料弯曲强度越高,这可能是因为混合过程中,增强剂填充了木塑复合材料粒子间的间隙,而其粒径越小,填充程度越高,复合材料的密实度越高,从而使其内部的结合力越强,故弯曲强度越高^[8]。

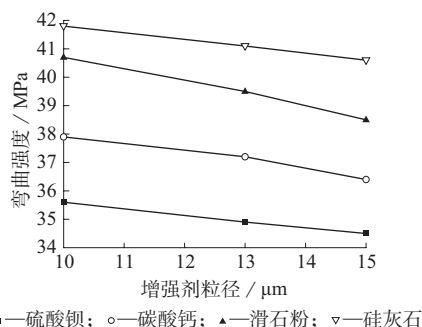


图2 不同增强剂种类和粒径下 PP 基本塑复合材料的弯曲强度

结合图1和图2可知,在相同增强剂含量和粒径的情况下,硅灰石增强的复合材料弯曲强度最高,其次是滑石粉,再次是碳酸钙,硫酸钡增强的复合材料弯曲强度最低。可以认为,在这4种增强剂中,硅灰石是PP基本塑复合材料的最佳增强剂。

为进一步了解硅灰石对PP基本塑复合材料综合力学性能的影响,研究了不同粒径的硅灰石对复合材料缺口冲击强度和拉伸强度的影响,分别如图3和图4所示。图3表明,随着硅灰石含量增加,复合材料缺口冲击强度呈现先上升后下降趋势,其原因是硅灰石微粒大多呈条状结构,长径比较大,这种结构有效缓解了外部的冲击力,从而提高了复合材料的冲击性能,但含量过大,破坏了PP基体的连续性,造成缺口冲击强度下降;增强剂粒径越小,复合材料密实度相对越大,内结合力越强,缺口冲击强度越大^[9-11]。在不同硅灰石含量和粒径情况下,硅灰石对复合材料拉伸强度的影响趋势与缺口冲击强度相同。当粒径为10 μm

的硅灰石质量分数为15%时,复合材料的综合力学性能最好,拉伸和弯曲强度分别为32.44, 41.8 MPa, 缺口冲击强度达到6.37 kJ/m²。

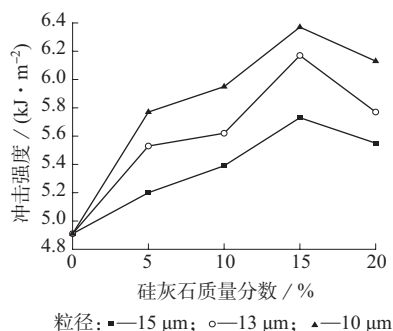


图3 不同硅灰石含量和粒径下 PP 基本塑复合材料的缺口冲击强度

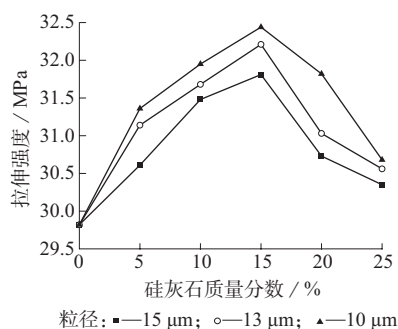


图4 不同硅灰石含量和粒径下 PP 基本塑复合材料的拉伸强度

2.2 增韧剂对木塑复合材料力学性能的影响

PP基本塑复合材料低温情况下韧性较差、易脆裂。通过添加增韧剂的方式,可以提高其缺口冲击强度,改善使用过程中的硬脆性^[7]。保持杨木粉和其它助剂含量不变,在硅灰石(粒径为10 μm)质量分数为15%的基础上,研究增韧剂POE, EPDM和SBS含量对PP基本塑复合材料冲击、弯曲和拉伸性能的影响,结果分别如图5、图6和图7所示。

由图5可知,POE, EPDM和SBS对PP基本塑复合材料有着良好的增韧效果,随着3种增韧剂含量的增加,复合材料的冲击性能逐渐提升。当增韧剂的含量相同时,增韧效果顺序依次为POE, SBS和EPDM,其中POE的增韧效果最好。这是由于POE作为复合材料PP基体中的主要受力点时,基体以剪切屈服的方式吸收冲击产生的动能,同时产生无数微小裂纹,减弱了冲击带来的破坏,阻止裂纹进一步扩大,从而使复合材料表现出较高的韧性^[12-13]。

从图6和图7可知,增韧剂加入破坏了基体中连续相PP的性能,使得两相分子链互相交错,从而导致复合材料弯曲强度和拉伸强度降低。在不同增韧剂种类、相同含量情况下,相对于EPDM和SBS, POE使复合材料缺口冲击强度的增加幅度大

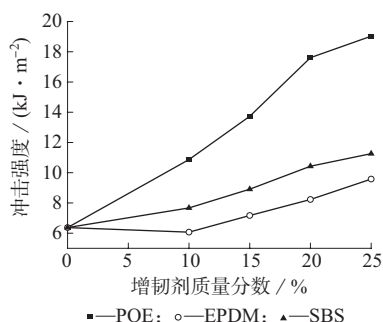


图5 不同增韧剂含量下PP基木塑复合材料的缺口冲击强度

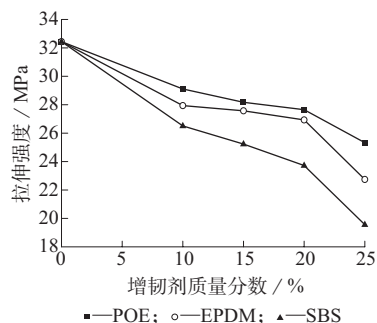


图6 不同增韧剂含量下PP基木塑复合材料的弯曲强度

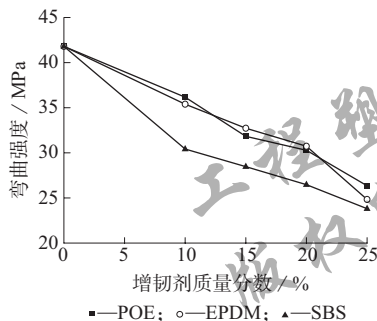


图7 不同增韧剂含量下PP基木塑复合材料的拉伸强度

于弯曲强度和拉伸强度的减小幅度;另外,从生产制造和效益方面考虑,EPDM, SBS存在流动性差、工艺要求高和成本高等因素,所以在这3种增韧剂中,POE作为PP基木塑复合材料的增韧剂比较合适,其一方面可以大幅度提高复合材料的韧性,另一方面避免了EPDM, SBS在塑性、加工性能方面的不足,还有利于复合材料色彩融合等^[14-15]。当POE质量分数为20%,粒径为10 μm的硅灰石质量分数为15%时,PP基木塑复合材料的力学性能最优,缺口冲击强度为17.61 kJ/m²、弯曲强度为30.28 MPa、拉伸强度为27.65 MPa。

2.3 应用情况

木塑复合材料的韧性和强度是一对难以调和的矛盾,韧性增加通常以牺牲刚性和强度为代价,对家具制造领域材料来说,弯曲强度等力学性能指标十分重要,因此在评价增韧剂和增强剂时,须根据家具用途和生产工艺综合考虑。制备的改性PP基木

塑复合材料已应用于宁波永茂家居用品有限公司家具生产和销售,其弯曲强度优于家具用木质人造板材国家标准 GB/T 4897-2015 对弯曲强度的要求(厚度为24 mm时,弯曲强度为10.5 MPa),应用效果良好。

3 结论

(1) 随增强剂含量的增加,PP基木塑复合材料的弯曲强度先升高后降低,随增强剂粒径的减小,复合材料的弯曲强度提高。在相同增强剂含量和粒径下,增强效果从高到低依次为硅灰石、滑石粉、碳酸钙和硫酸钡。当增强剂硅灰石的粒径为10 μm、质量分数为15%时,PP基木塑复合材料的综合力学性能最好。

(2) 在增韧剂含量相同的情况下,增韧效果从高到低依次为POE, EPDM和SBS。

(3) 当POE质量分数为20%,粒径为10 μm的硅灰石质量分数为15%时,PP基木塑复合材料的力学性能最优,可应用于家具行业。

参考文献

- [1] Soury E, Behravesh A H, Esfahani E R, et al. Design optimization and manufacturing of wood-plastic composite pallet[J]. Materials & Design, 2009, 30(10):4 183-4 191.
- [2] Madhoushi M, Chavooshi A, Ashori A, et al. Properties of wood plastic composite panels made from waste sanding dusts and nanoclay[J]. Journal of Composite Materials, 2014, 48(14):1 661-1 669.
- [3] 刘彬, 李彬, 王怀栋, 等. 木塑复合材料应用现状及发展趋势[J]. 工程塑料应用, 2017, 45(1):137-141.
- [4] Liu Bin, Li Bin, Wang Huaidong, et al. Application status and development trend of wood plastic composite[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(1):137-141.
- [5] 王清文, 易欣, 沈静. 木塑复合材料在家具制造领域的发展机遇[J]. 林业工程学报, 2016, 1(3):1-8.
- [6] Wang Qingwen, Yi Xin, Shen Jing. Tailoring wood-plastic composites for furniture production: Possibilities and opportunities[J]. Journal of Forestry Engineering, 2016, 1(3):1-8.
- [7] 王一工. 木塑材料在家具行业的应用前景分析[J]. 家具与室内装饰, 2005, 12(11):16-18.
- [8] Wang Yigong. Foreground of wood plastic in furniture industry[J]. Furniture & Interior Decoration, 2005, 12(11):16-18.
- [9] 宋建强, 彭鹤松, 王光硕, 等. 不同无机粉体在PE木塑复合材料中的应用研究[J]. 中国塑料, 2017, 31(1):70-74.
- [10] Song Jianqiang, Peng Hesong, Wang Guangshuo, et al. Study on applications of different inorganic fillers in polyethylene wood-plastic composites[J]. China Plastics, 2017, 31(1):70-74.
- [11] 文月琴, 徐建锋, 宋剑斌, 等. 增韧剂对竹塑复合材料性能的影响

- [J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(4):104-107.
- Wen Yueqin, Xu Jianfeng, Song Jianbin, et al. Effects of flexibilizer on bamboo-plastic composite properties[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2015, 43(4):104-107.
- [8] 周健, 唐己琴, 孟海兵, 等. 聚丙烯 / 硫酸钙晶须复合材料的研究 [J]. 工程塑料应用, 2008, 36(11):19-22.
- Zhou Jian, Tang Jiqin, Meng Haibing, et al. Study on PP / calcium sulfate whisker composite[J]. Engineering Plastics Application, 2008, 36(11):19-22.
- [9] 宋丽贤, 张平, 姚妮娜, 等. 木粉粒径和填量对木塑复合材料力学性能影响研究 [J]. 功能材料, 2013, 44 (17):2 451-2 454.
- Song Lixian, Zhang Ping, Yao Nina, et al. Study on effect of particle diameter and filling quantity of wood flour on mechanical properties of wood-plastics composite[J]. Journal of Functional Materials, 2013, 44 (17):2 451-2 454.
- [10] 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, 39(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.
- [11] 张括, 计宏伟. PP / 甘蔗皮纤维复合材料的拉伸性能 [J]. 工程塑料应用, 2017, 45(2):103-107.
- Zhang Kuo, Ji Hongwei. Tensile properties of polypropylene / sugarcane bark fiber composite[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(2):103-107.
- [12] 杜虎虎, 王伟宏, 王海刚, 等. 木纤维含量对木塑复合材料蠕变特性的影响 [J]. 建筑材料学报, 2015, 18 (2):333-339.
- Du Huhu, Wang Weihong, Wang Haigang, et al. Influence of wood fiber content on the creep behavior of wood fiber-plastic composite[J]. Journal of Building Materials, 2015, 18(2):333-339.
- [13] 高华, 王清文, 王海刚, 等. 马来酸酐接枝 PP / PE 共混物及其木塑复合材料 [J]. 林业科学, 2010, 46(1):107-111.
- Gao Hua, Wang Qingwen, Wang Haigang, et al. Maleic anhydride grafted PP / PE blend and their composites with wood fiber[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(1):107-111.
- [14] Kamal B A, Pang S S, Mark P S. Long-term moisture absorption and thickness swelling behavior of recycled thermoplastics reinforced with Pinus radiata sawdust[J]. Chemical Engineering Journal, 2008, 142(2):190-198.
- [15] Sonia M B N, Crazuela S C, Simone M L R. New polymeric-coupling agent for polypropylene / wood-flour composites[J]. Polymer Testing, 2007, 26(5):619-628.
- (上接第 31 页)
- Miao Jingyuan, Ye Mu. Processing & applications of fluoroplastics[M]. Beijing:Chemistry Industry Press, 1987.
- [3] Yan Luke, Huang Rongrong, Xiao Jian, et al. Preparation and properties of a composite made by barium sulfate-containing polytetrafluoroethylene granular powder[J]. High Performance Polymers, 2016, 28(6):741-746.
- [4] Peng Shiguang, Guo Yue, Xie Guoxin, et al. Tribological behavior of polytetrafluoroethylene coating reinforced with black phosphorus nanoparticles[J]. Applied Surface Science, 2018, 441:670-677.
- [5] Desale D D, Pawar H B. Performance analysis of polytetrafluoroethylene as journal bearing material[J]. Procedia Manufacturing, 2018, 20:414-419.
- [6] Qu Mengnan, Yao Yali, He Jinmei, et al. Tribological study of polytetrafluoroethylene lubricant additives filled with Cu microparticles or SiO₂ nanoparticles[J]. Tribology International, 2017, 110(6):57-65.
- [7] Yan Luke, Chao Min, Xiao Jian, et al. Study on preparation of BaSO₄-containing polytetrafluoroethylene granular powder[J]. Advances in Polymer Technology, 2017, 36(4):418-423.
- [8] 孙永兴, 宋博, 王引真, 等. 中空玻璃微珠对超高分子量聚乙烯性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2015, 43(9):119-124.
- Sun Yongxing, Song Bo, Wang Yinzen, et al. Influence of hollow glass bead on properties of PE-UHMW[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(9):119-124.
- [9] Xu Wenjuan, Gao Hong, Gao Lilan, et al. Uniaxial time-dependent ratcheting behavior of bronze powder filled polytetrafluoroethylene at room and high temperature[J]. Polymer Engineering & Science, 2014, 54(7):1 571-1 578.
- [10] 盛旭敏, 周冕, 苏伟亨. 中空玻璃微珠填充低密度聚乙烯材料的性能 [J]. 塑料, 2013, 42(1):15-17.
- Sheng Xumin, Zhou Mian, Su Weiheng. Properties of hollow glass beads filled low density polyethylene composite[J]. Plastics, 2013, 42(1):15-17.
- [11] Masood M T, Papadopoulou E L, Heredia-Guerrero J A, et al. Graphene and polytetrafluoroethylene synergistically improve the tribological properties and adhesion of nylon 66 coatings[J]. Carbon, 2017, 123:26-33.
- [12] Sahli M, Cablé A, Chetehouna K, et al. Preparation and characterization of polytetrafluoroethylene (PTFE) / thermally expanded graphite (TEG)[J]. Composites Part B:Engineering, 2017, 124:175-181.