

http://pmse.scu.edu.cn

高强耐磨聚对苯二甲酸丁二醇酯复合材料的制备及性能

戚加磊, 姚超, 左士祥, 沈锐其, 叶义风, 桂豪冠

(常州大学石油化工学院 江苏省先进催化与绿色制造协同创新中心, 江苏 常州 213164)

摘要: 利用表面改性钛酸钾晶须(MPTW), 通过原位聚合法制备了聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBT)基复合材料, 分析了MPTW的表面性质及其添加量对复合材料的聚合特性、微观形貌、热稳定性、结晶行为、力学性能及耐摩擦磨损性能的影响。结果表明, MPTW能与PBT发生原位化学接枝, 促进MPTW在PBT基体中的分散, 并模糊相界面; 原位接枝的MPTW对PBT的热稳定性影响不大, 但影响PBT的半结晶时间。当MPTW质量分数为4%时, 复合材料的力学性能达到最优, 其中拉伸强度较纯PBT提高2倍, 而冲击强度是纯PBT的3倍。同时, MPTW的添加明显提高了PTW的耐摩擦磨损性能。总体而言, 制备的高强耐磨PBT复合材料, 在工程塑料结构件、机械传动零件等领域具有潜在的应用价值。

关键词: 钛酸钾; 聚对苯二甲酸丁二醇酯; 结晶行为; 力学性能; 摩擦性能

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7555(2024)12-0052-09

聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBT)是常见的工程塑料之一, 属于一类高结晶速率的半结晶热塑性聚合物, 其力学性能优异、化学稳定性好、易成型及吸湿性低等^[1]。PBT相关制品被广泛用于汽车零部件、电子电气、机械设备等领域。但是PBT也存在一些缺陷, 如, 缺口冲击敏感、易翘曲、不耐磨等, 限制了PBT材料的发展。相关技术人员开发了多种有效的改性方法, 诸如, 添加小分子助剂、化学共聚、物理共混和有机/无机纳米复合等, 克服PBT树脂的本身缺陷, 提高PBT的使用性能^[2]。但是, 针对PBT耐摩擦磨损性能的改性报道较少。目前, 高分子材料的摩擦改性, 多采用纳米填料与聚合物基体材料熔融共混的策略^[3-6]。虽然纳米填料经过球磨、硅烷偶联剂或化学接枝等手段调控其表面性质, 但是其在聚合物基体中仍难以分散, 牺牲了复合材料的力学性能。本文拟采用原位聚合改性的方式制备PBT基高耐磨复合材料, 并改善PBT的力学强度。选用表面改性的一维钛酸钾晶须(MPTW)为功能填料, 将其

引入PBT聚合体系中, 制备PBT/MPTW复合材料。所用MPTW能够很好地分散在PBT单体中, 其表面可反应性的官能团参与PBT的聚合过程, 实现高分散和原位化学接枝。所制备PBT/MPTW复合材料具有高的力学强度和耐磨损性能, 在高强耐磨结构件领域具有广泛的应用前景。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

1,4-丁二醇(BDO)、对苯二甲酸(PTA): 均为工业级, 中国石化扬子石化股份有限公司; 钛酸钾(PTW): 工业级, 唐山晶须复合材料制造有限公司; 钛酸四丁酯(TBT)、盐酸(HCl)、乙酸(CH₃COOH)、无水乙醇(CH₃CH₂OH): 分析级, 国药集团化学试剂有限公司; 苯酚(C₆H₆O)、1,1,2,2-四氯乙烷(C₂H₂Cl₄): 分析级, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1 L 间歇式不锈钢反应釜: 扬州普利特科技发展有限公司; 悬臂切粒机 Pelletizer(Boom): LQ-25 型,

doi: 10.16865/j.cnki.1000-7555.2024.0225

收稿日期: 2023-12-04

基金项目: 中石油创新基金(2022DQ02-0602); 江苏省高等学校基础科学(自然科学)研究面上项目(22KJB430014)

通讯联系人: 桂豪冠, 主要从事多相多组分复合材料和不对称复合颗粒及界面工程研究, E-mail: guihaoguan@cczu.edu.cn

江苏宇乐机械设备有限公司;实验用微型注塑机:WZS10G型,上海新硕精密机械有限公司;傅里叶变换红外光谱仪(FT-IR):Nicolet IS10型,赛默飞世尔科技公司;扫描电子显微镜(SEM):Nova Nano SEM 450型,美国FEI公司;透射电子显微镜(TEM):JEM2010型,日本电子有限公司;能量色散X射线光谱仪(EDX):EDSX-Max型,英国Oxford公司;热重分析仪(TGA):Q50型,美国TA公司;差示扫描量热仪(DSC):Pyris 1型,美国Perkin Elmer公司;电子万能材料试验机:WDT-5型,深圳市凯强机械有限公司;冲击试验机:JB-500B型,扬州中科计量仪器有限公司;摩擦磨损试验机:UMT3型,济南益华摩擦学测试技术有限公司。

1.2 实验过程

1.2.1 PTW的表面改性:对PTW进行表面酸蚀处理。称量一定质量的钛酸钾粉末,加入1 mol/L的HCl乙醇溶液(PTW与HCl乙醇溶液的质量比为1:10),在水浴70 °C密封磁力搅拌2 h,最后超声30 min,抽滤洗涤,在80 °C的烘箱中干燥,获得改性钛酸钾(MPTW),在保干器中保存待用。

1.2.2 PBT/MPTW复合材料的原位制备:采用酯化法制备PBT/MPTW复合材料。取350 g的PTA和210 g的BDO以及不同质量分数的MPTW(0, 1%, 2%, 4%和8%),加入0.5 g TBT,均匀搅拌配成分散浆,投入反应釜;利用高纯氮重复置换反应釜内空气3~4次后,将反应釜内压力抽至低真空(-60 kPa),再升高釜内温度至240~245 °C进行酯化反应,保持酯化反应2~3 h,以出水量来判断酯化率;待酯化后,将反应釜内压强抽至高真空(-99 kPa),接着升温至245~247 °C,预缩聚45 min,再升温至247~249 °C,缩聚3~4 h,在25 Hz下电机功率达到45 W左右时,反应结束得到PBT/MPTW复合材料(记作PBT-X,其中X为体系中MPTW的质量分数);待聚酯冷却结晶后切粒,得到聚酯切片。

1.3 测试与表征

1.3.1 傅里叶变换红外光谱分析:采用FT-IR分析了PBT/MPTW复合材料和其中MPTW的化学结构。测试的波长范围为500~4000 cm^{-1} 。其中PBT/MPTW复合材料采用全反射模式(ATR),而MPTW则采用KBr压片透射模式测试。PBT/MPTW复合材

料中的接枝MPTW(MPTW-g-PBT)是由苯酚/四氯乙烷(质量比1:1)混合液反复离心洗涤PBT/MPTW复合材料,直至获得固体粉末,用于FT-IR表征。

1.3.2 扫描电子显微镜分析:通过SEM对PBT/MPTW复合材料的脆断面进行微观形貌表征。采用PBT/MPTW复合材料的液氮脆断面,表面喷金(3~5 nm厚),在5 kV下观察其表面形貌。

1.3.3 透射扫描电镜分析:采用TEM对MPTW-g-PBT进行研究。将极稀MPTW-g-PBT的乙醇分散液滴到铜网表面,待样品充分干燥后,利用TEM观察其形貌。并利用EDX分析其表面元素的分布。

1.3.4 热重分析:采用TG对PBT和PBT/MPTW复合材料的热稳定性分析。在氮气流速为40~50 mL/min的氛围下,以10 °C/min的升温速率至800 °C,最终得到样品的热失重数据。

1.3.5 结晶性能分析:采用DSC分析PBT和PBT/MPTW在氮气氛围下的升降温曲线。先以10 °C/min的速率升温至250 °C,保持5 min,消除热历史,再以10 °C/min的速率降温至25 °C,再升温至250 °C(10 °C/min)。记录各段的热流曲线。

1.3.6 力学性能测试:采用万能电子拉力机进行拉伸测试,根据国标GB/T 1040.2-2022《塑料 拉伸性能测定》的标准制样,以5 mm/min的拉伸速率进行测试。

采用悬臂梁缺口冲击试验机进行材料缺口抗冲击试验,根据国标GB/T 1843-2008《塑料 悬臂梁冲击强度的测定》的标准制样和测试。

1.3.7 摩擦磨损性能测试:采用磨损摩擦试验机进行摩擦磨损试验。试样为正方形,边长为30 mm、厚度4 mm。试验条件为,线性往复运动30 min,载荷50 N,频率30 Hz,摩擦行程10 mm。

2 结果与讨论

2.1 PTW改性

为了增强PTW与PBT基体的作用力,对PTW进行表面酸蚀处理。如图1所示,分别对应未酸蚀MPTW,轻度酸蚀MPTW和重度酸蚀MPTW。研究发现,轻度酸蚀的MPTW(图1(b)),其尺寸不改变,而且能够均匀分散,不易团聚;但重度酸蚀的MPTW(图1(c)),其尺寸变细,且有部分MPTW碎片,有明显断裂的痕迹。通过Zeta电位表征发现,原始PTW

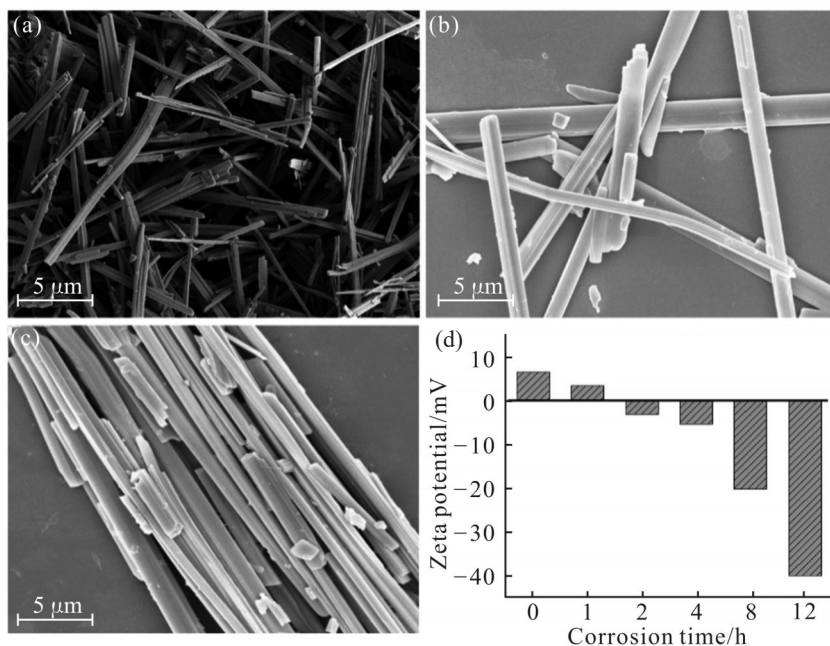


Fig. 1 SEM images and zeta potential change of MPTW: (a) PTW; (b) MPTW after 2 h acid-etching; (c) MPTW after 12 h acid-etching; (d) zeta potential as a function of etching time

表面呈正电,经酸蚀后,Zeta 电位由正电变成负电,证实酸蚀改性成功(Fig.1(d))。

2.2 PBT/MPTW 复合材料聚合特性研究

将上述酸蚀 2 h 的 MPTW 引入以钛酸四丁酯为催化剂、对苯二甲酸和 1,4-丁二醇为原料的 PBT 聚合体系中,只改变 MPTW 的添加量,在相同的工艺条件下制备 PBT/MPTW 复合材料。研究发现,MPTW 的添加能够加快 PBT 的酯化反应;在 PBT 合成过程的酯化阶段,质量分数 2% 的 MPTW 所用时间最短。在统一的电机功率下出料,缩聚时间基本相近,证明 MPTW 对缩聚阶段影响不大。测试了 PBT/MPTW 复合材料的特性黏度,均为 (0.96 ± 0.01) dL/g。

如 Fig.2 所示,通过 FT-IR 研究了复合材料的化学组成,证实了其中 PBT 结构的存在,如 2962 cm^{-1} 处的—CH—不对称伸缩振动吸收峰和 1472 cm^{-1} 处的—CH₂—弯曲振动吸收峰,而 1717 cm^{-1} 处则为 C=O 的伸缩振动吸收峰, 973 cm^{-1} 为—COO—面内变形吸收峰。同时,PBT 分子链上的芳香环结构由 1614 cm^{-1} , 1579 cm^{-1} , 1506 cm^{-1} 和 1454 cm^{-1} 的苯环—C=C—弯曲振动吸收峰, 873 cm^{-1} 的苯环—CH—面内吸收峰和 727 cm^{-1} 的苯环上—CH—面外变形吸收峰证实。并且,在 706 cm^{-1} 和 961 cm^{-1} 处可以观察到钛酸钾的特征吸收峰,证实了 PBT/MPTW 复合材料

中 MPTW 的存在。

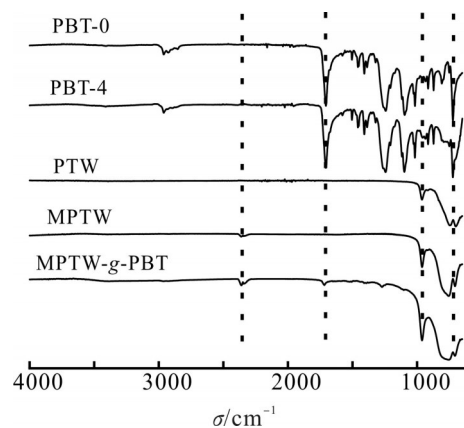


Fig. 2 FT-IR spectra of PBT-0, PBT-4, PTW, MPTW and MPTW-g-PBT

2.3 PBT/MPTW 复合材料微观形貌分析

如 Fig.3 所示,利用 SEM 观察了 PBT/MPTW 复合材料的液氮脆断面。未添加 MPTW 的 PBT-0 断面光滑平整,这是由于遭受外力破坏时,聚合物内部产生裂纹并迅速扩大,使材料整体失效,从而表现为脆性断裂(Fig.3(a))。如 Fig.3(b~d)所示,添加 MPTW 后,所有断面的粗糙程度明显增加,出现了褶皱、微纤等,形成类似台阶状的韧性断裂带,证实 MPTW 的添加有利于 PBT 韧性的提高^[7]。这是由于无机填料的存在产生应力集中效应,引发 MPW 周围树脂基体屈服,吸收大量变形功,产生增韧效果^[8,9]。同时,观

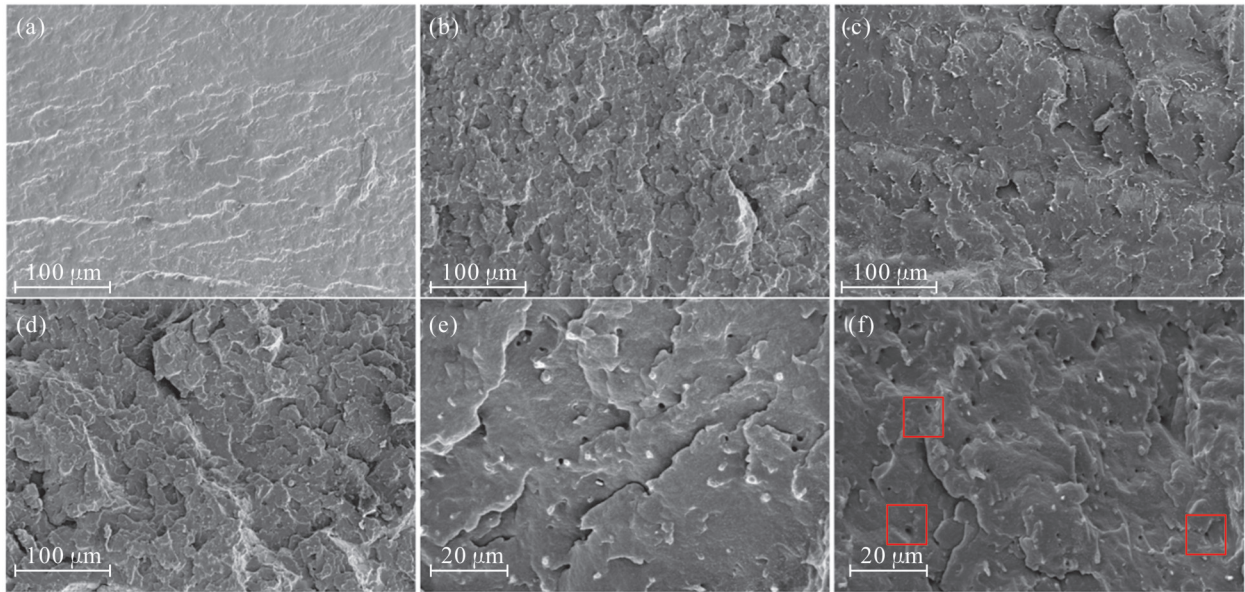


Fig. 3 SEM images of (a) PBT-0, (b) PBT-1, (c) PBT-4, (d) PBT-8, (e) melt blending of PBT-8 and (f) in-situ polymerization of PBT-8

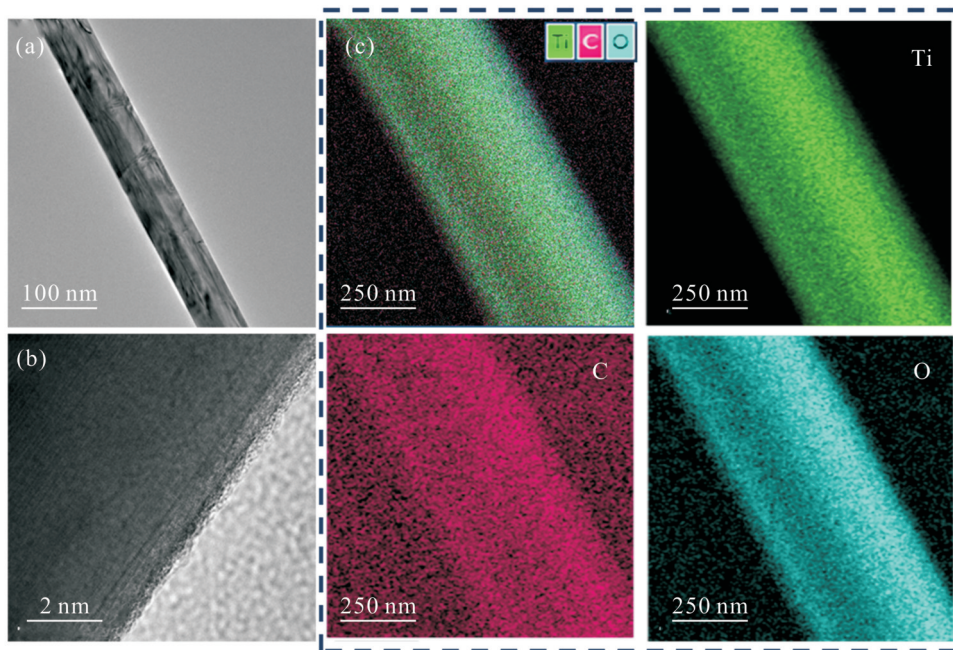


Fig. 4 TEM images of (a) MPTW-g-PBT, (b) magnified MPTW-g-PBT, and (c) the corresponding EDX analysis

观察到MPTW能够在PBT基体中均匀分散,证明无机填料表面原位接枝的分子链促进其在聚合物基体中的分散^[10]。但是,MPTW质量分数达到8%时,PBT基体中观察到部分团聚现象(Fig.3(d))。

为了研究原位聚合对MPTW的分散及其与PBT基体的相互作用,以质量分数8%的MPTW,通过熔融共混制备了PBT-8。利用高倍数SEM照片对比观察了熔融共混PBT-8和原位聚合PBT-8的液氮脆断面(Fig.3(e)和Fig.3(f))。研究发现,熔融共混PBT-8

的脆断面明显有PTW脱落的痕迹;而原位聚合PBT-8中几乎看不到MPTW的脱落,并且MPTW和PBT基体之间的界面模糊。可能由于PBT分子链在MPTW发生化学接枝生成MPTW-g-PBT,从而提高了MPTW与PBT基体的相容性,促进MPTW的分散,相似的化学接枝在PBT/凹凸棒石原位聚合体系中也有报道^[11]。

2.4 MPTW原位接枝PBT的研究

为了进一步研究MPTW表面的化学接枝机制,

将PBT/MPTW复合材料用苯酚/四氯化乙烷(质量比1:1)混合液反复离心洗涤,直至获得不溶性固体粉末MPTW-g-PBT。通过FT-IR光谱对比MPTW-g-PBT和MPTW,发现MPTW-g-PBT在 1717 cm^{-1} 有属于羰基 $\text{C}=\text{O}$ 的伸缩振动峰,在 1272 cm^{-1} 有属于 $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ 基团拉伸振动吸收峰,由此初步判断MPTW与PBT发生了化学接枝反应,有化学键形成(Fig.2)。

为了更好地观察PBT与MPTW的接枝,利用TEM观察钛酸钾表面的情况,结果如图4所示。研

究发现MPTW-g-PBT的晶格纹处有层非晶的薄层。通过EDX分析该非晶薄层的元素组成,发现薄层中主要含C和O元素,因此证实了PBT分子链是以化学键的形式接枝到MPTW的表面。

2.5 PBT/MPTW复合材料的热稳定性研究

PBT-0和原位聚合的PBT/MPTW复合材料的TGA如图5所示。从TG图和DTG图中可以看出,所有样品的热分解曲线类似。其热分解主要分为两步:在 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 处达到了DTG曲线的峰值,这是由于

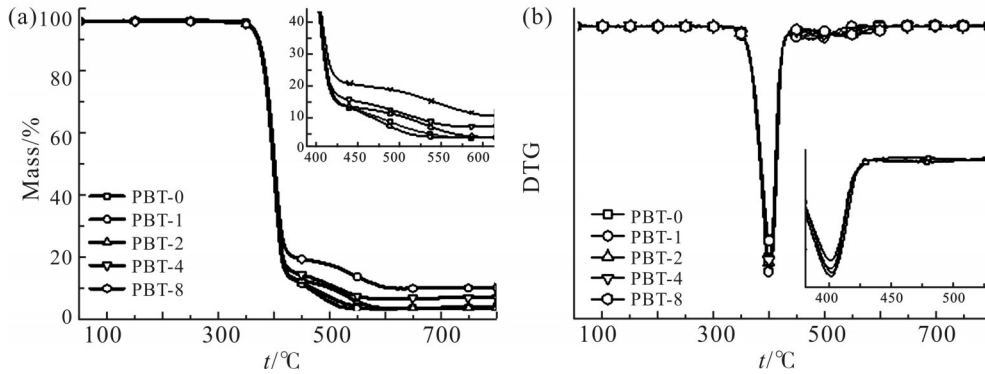


Fig. 5 (a) TGA and (b) DTG curves of PBT/MPTW composites

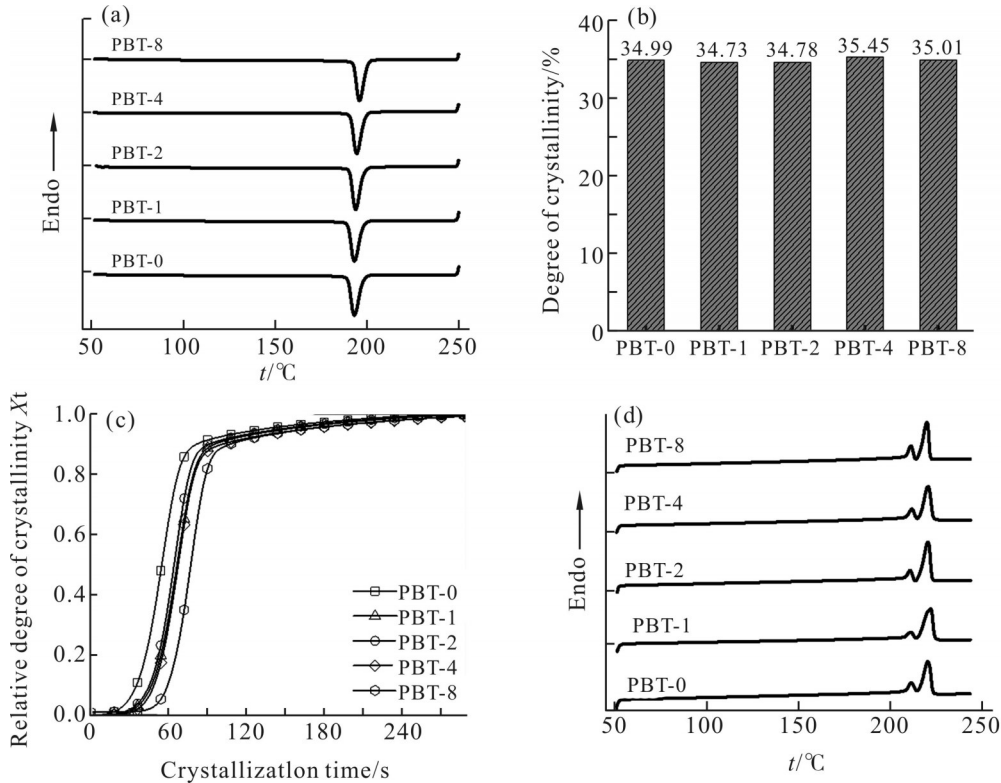


Fig. 6 DSC curves of PBT/MPTW composites: (a) the 1st cooling curves; (b) the degree of crystallinity as a function of MPTW content; (c) the relative crystallinity as a function of crystallization period; (d) the 2nd heating curves

PBT 聚酯主链受热发生分解,从而断裂成较短的分子链;而在 420~600 °C,是亚甲基的分解。同时,残余质量与 MPTW 在 PBT/MPTW 复合材料的添加量相近,没有影响 PBT 的热稳定性。

2.6 PBT/MPTW 复合材料的结晶行为研究

利用 DSC 研究了 MPTW 用量对 PBT/MPTW 复合材料热行为的影响(Fig.6)。由降温曲线可以发现,随着 MPTW 添加量的增加,结晶温度有所提高(Fig.6(a)),但是其相对结晶度相比纯 PBT 几乎不变(Fig.6(b)),表明 MPTW 对 PBT 的结晶度并无影响。如 Fig.6(c)所示,分析了纯 PBT 和 PBT/MPTW 复合材料相对结晶度(X_c)随结晶时间的变化。与纯 PBT 相

比,低添加量的 MPTW 使得 PBT 的相对结晶时间延长,即结晶速率变缓;并且,当质量分数高达 8% 时, PBT 的结晶时间又进一步延长,可能是原位生成的 MPTW-g-PBT 阻碍了 PBT 分子链的自由移动,从而在一定程度上减缓了结晶速率^[12,13]。

同时,研究了纯 PBT 和 PBT/MPTW 复合材料的二次升温过程(Fig.6(d)),发现所有样品的熔融峰均是较为明显的双重峰,这主要是由于结晶性聚合物的分子链较大,结晶完善程度不一致^[14,15]。

2.7 PBT/MPTW 复合材料的力学性能评价

PBT/MPTW 复合材料的力学性能研究结果如图 Fig.7 所示。随着 MPTW 添加量的增加,PBT/MPTW

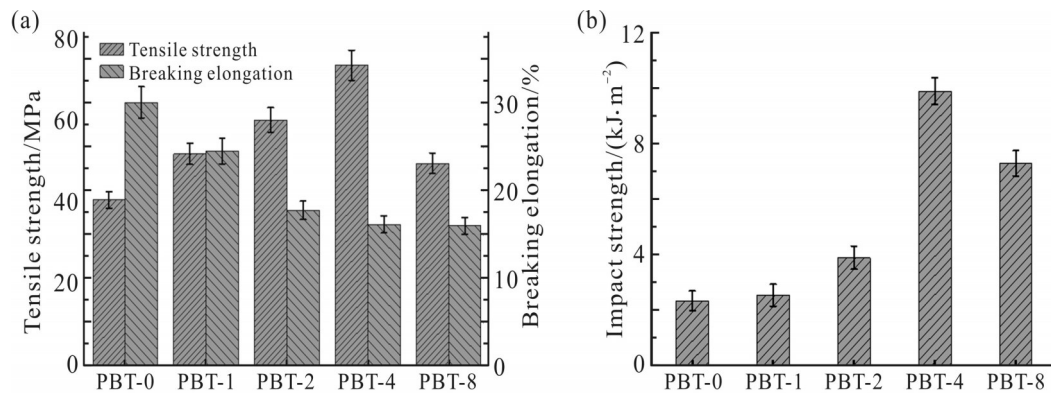


Fig. 7 Mechanical performances of PBT/MPTW composites: (a) tensile strength and breaking elongation; (b) impact strength

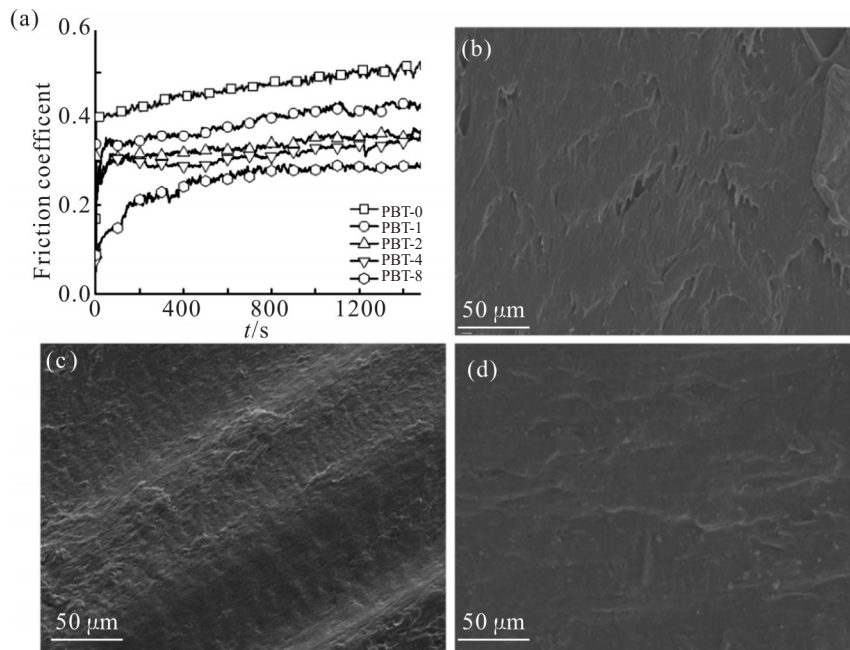


Fig. 8 Tribological study of PBT/MPTW composites and the corresponding SEM images of the wear surface: (a) the relationship between friction coefficient and time; SEM images of the wear surface for the samples of (b) PBT-0, (c) PBT-4 and (d) PBT-8

复合材料的拉伸性能呈现出先增大后减小的趋势。当MPTW质量分数为4%时,所得PBT-4的拉伸强度最高,相较于纯PBT提高了1倍。同样,PBT/MPTW复合材料的抗冲击强度也随MPTW添加量的增加呈现先增大后减小的趋势,4%的MPTW质量分数最佳,而PBT-4缺口冲击强度为 9.91 kJ/m^2 (是纯PBT强度的3倍左右)。这可能由于原位生成的MPTW-g-PBT起到增强作用,能在受到外力时均匀分散应力,从而吸收更多的能量,并且因为化学键的连接更加紧密,需要更大的能量才能使PBT破坏^[16]。但是,PBT-8的拉伸强度和缺口冲击强度略有下降,可能由于MPTW在PBT基体中的部分团聚。

2.8 PBT/MPTW复合材料的耐磨损性能研究

聚合物基复合材料属于黏弹性物质,其摩擦系数一般相较于其他复合材料偏大。如图8(a)所示,MPTW的加入有效降低了PBT/MPTW复合材料的摩擦系数。并且,复合材料的摩擦系数随着MPTW添加量的增加而减小,直至质量分数为8%时,PBT-8的摩擦系数由PBT-0的0.44降至0.27。这可能由于MPTW能够在PBT摩擦表面起硬骨架的作用,提高了复合材料的硬度,进而减小黏附面积、降低摩擦系数,并在摩擦过程中减少摩擦凹槽的进一步发展^[17]。利用SEM照片观察了纯PBT及PBT/MPTW复合材料的磨损表面形貌。如图8(b)所示,纯PBT的磨损表面出现塑性变形和熔体流动的痕迹,这是由于摩擦界面之间的摩擦热而引起的^[18-20]。当添加MPTW后,如PBT-4复合材料,其表面划痕较浅,摩擦面也较为光滑,证明MPTW能够在PBT中起抗磨损的作用(图8(c))。并且,当MPTW质量分数增加到8%时,其划痕最浅,纤维最少,表面最为光滑平整,证实了随着MPTW添加量的增加,复合材料的抗磨损能力逐步增强(图8(d))。

3 结论

本文利用改性钛酸钾晶须(MPTW)原位增强PBT,揭示了MPTW与PBT基体的作用机制,研究了PBT/MPTW复合材料的热稳定性、结晶行为、力学性能及耐磨损性能,得到以下结论。

(1)MPTW促进聚合反应的酯化过程,并且MPTW表面接枝有PBT分子链实现了原位增强。

(2)原位接枝的MPTW显著提高了PBT/MPTW复合材料的力学性能。MPTW的质量分数4%时,复合材料拉伸强度和冲击强度达到最大值,证实MPTW的良好分散和原位增强;当MPTW用量更高(8%)时,由于填料部分团聚,复合材料力学性能有所下降。

(3)原位接枝的MPTW改善了PBT的耐摩擦磨损性能,复合材料的摩擦系数大幅降低,其表面划痕变浅,摩擦面也较为光滑。

上述结果证实了钛酸钾晶须对PBT的原位增强机制,为高强耐磨聚酯基工程塑料的开发提供基础。

参考文献:

- [1] De vos L, Van de Voorde B, Van daele L, *et al.* Poly(alkylene terephthalate)s: from current developments in synthetic strategies towards applications[J]. *European Polymer Journal*, 2021, 161: 110840
- [2] 卜和安, 刘世军, 吴文洋. PBT工程塑料改性的研究现状及应用进展[J]. *塑料科技*, 2023, 51(2): 109-113.
Bu H A, Liu S J, Wu W Y. Research status and application progress of modified PBT engineering plastics[J]. *Plastics Science and Technology*, 2023, 51(2): 109-113.
- [3] 李志科, 陈斯佳, 马英杰, 等. 自润滑聚合物材料研究进展[J]. *高分子材料科学与工程*, 2020, 36(8):165-172.
Li Z K, Chen S J, Ma Y J, *et al.* Advances in self-lubricating polymer composites[J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2020, 36(8): 165-172.
- [4] Mu B, Jiang Z, Yang B, *et al.* Tribological and mechanical properties of PBT composites with microcapsules and potassium titanate whiskers[J]. *Polymer Engineering & Science*, 2019, 59: 490-499.
- [5] Chen Z, Li T, Yang Y, *et al.* Mechanical and tribological properties of PA/PPS blends[J]. *Wear*, 2004, 257: 696-707.
- [6] Georgescu C, Deleanu L, Chipere L, *et al.* Tribology of polymer blends PBT+ PTFE[J]. *Materials*, 2021, 14: 997.
- [7] Phetwarotai W, Zawong M, Phusunti N, *et al.* Toughening and thermal characteristics of plasticized polylactide and poly (butylene adipate- *co*- terephthalate) blend films: influence of compatibilization[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 183: 346-357.

- [8] Bai H, Zhang Y, Zhang Y, *et al.* Toughening modification of PBT/PC blends by PTW[J]. *Polymer Testing*, 2005, 24: 235-240.
- [9] 程慧强, 向阳, 潘洋, 等. 聚碳酸酯/聚对苯二甲酸丁二醇酯交替层状复合材料的制备和冲击性能提升[J]. *高分子材料科学与工程*, 2023, 39(7): 123-130.
- Cheng H Q, Xiang Y, Pan Y, *et al.* Preparation and improvement of impact performance of polycarbonate/polybutylene terephthalate alternating layered composite materials[J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2023, 39(7): 123-130.
- [10] 潘炳力, 谈莹莹, 宁莉萍, 等. PBT/原位聚合改性凹凸棒粘土纳米复合材料的微结构与粘弹性[J]. *高分子材料科学与工程*, 2009, 25(4): 151-154
- Pan B L, Tan Y Y, Ning L P, *et al.* Microstructure and viscoelasticity of PBT/in-situ polymerization modified AT nanocomposites[J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2009, 25(4): 151-154.
- [11] Yuan X, Li C, Guan G, *et al.* Synthesis and characterization of poly(ethylene terephthalate)/attapulgitic nanocomposites[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2007, 103: 1279-1286.
- [12] 黄勇, 周涛, 刘俊红, 等. 微交联聚丁二酸丁二醇酯/聚四氢呋喃醚嵌段共聚物的合成和性能[J]. *高分子材料科学与工程*, 2013, 29(8): 5-8.
- Huang Y, Zhou T, Liu J H, *et al.* Synthesis and properties of micro-crosslinked polybutylene terephthalate/polytetrahydrofuran copolymer[J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2013, 29(8): 5-8.
- [13] Tehran A C, Shelesh-Nezhad K, Barazandeh F J. Mechanical and thermal properties of TPU-toughened PBT/CNT nanocomposites [J]. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 2019, 32: 815-830.
- [14] Mohd Ishak Z, Shang P, Karger-Kocsis J. A modulated DSC study on the in situ polymerization of cyclic butylene terephthalate oligomers[J]. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2006, 84: 637-641.
- [15] Yasuniwa M, Tsubakihara S, Ohoshita K, *et al.* X-ray studies on the double melting behavior of poly (butylene terephthalate)[J]. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 2001, 39: 2005-2015.
- [16] Rahimzadeh S, Tehran A C, Shelesh-Nezhad K. Study on morphology, mechanical, thermal and viscoelastic properties of PBT/ABS/CNT nanocomposites[J]. *Plastics, Rubber and Composites*, 2023, 52: 160-170.
- [17] Chaudri A M, Suvanto M, Pakkanen T T. Non-lubricated friction of polybutylene terephthalate (PBT) sliding against polyoxymethylene (POM)[J]. *Wear*, 2015, 342: 189-197.
- [18] 肖化星, 余小峰, 陆媛, 等. 分散相形态对MWCNTs/PBT/HDPE共混物摩擦磨损性能的影响[J]. *润滑与密封*, 2022, 47(4): 102-109.
- Xiao H X, Yu X F, Lu Y, *et al.* The Influence of dispersed phase morphology on the friction and wear performance of MWCNTs/PBT/HDPE blends[J]. *Lubrication Engineering*, 2022, 47(4): 102-109.
- [19] Carrión-Vilches F J, González-Vivas A, Martínez-Mateo I J, *et al.* Study of the abrasion resistance under scratching of polybutyleneterephthalate – glass fiber composites[J]. *Tribology International*, 2015, 92: 365-378.
- [20] 胡舒龙, 吕建, 卢凤英, 等. 介孔SBA-15对不饱和聚酯树脂及其复合材料性能的影响[J]. *高分子材料科学与工程*, 2014, 30(10): 159-163.
- Hu S L, Lü J, Lu F Y, *et al.* Influence of mesoporous SBA-15 on the properties of unsaturated polyester resin and its composites [J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2014, 30(10): 159-163.

Preparation of Poly(butylene terephthalate)-Based Composites with High Strength and Anti-Friction

Jialei Qi, Chao Yao, Shixiang Zuo, Ruiqi Shen, Yifeng Ye, Haoguan Gui

(Advanced Catalysis and Green Manufacturing Collaborative Innovation Center, School of Petrochemical Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

ABSTRACT: A series of poly(butylene terephthalate) (PBT) based composites with modified potassium titanate whiskers (MPTW) were prepared through in-situ polymerization. The surface properties and loading amount of MPTW were studied about their effects on the polymerization characteristics, microstructure, thermal stability, crystallization behavior, mechanical properties, friction-reduction, and wear-resistance of the PBT-based composites. The results show that the MPTW is in-situ chemical grafted with PBT, resulting in good dispersion and blurry phase interface. The in-situ grafted MPTW shows little effect on the thermal stability of PBT, but affects its semi-crystalline time. When the MPTW loading amount is 4%, mechanical properties of the composite reaches optimum, with a doubling of tensile strength and a tripling of impact strength compared to pure PBT. Additionally, the friction-reduction and wear-resistance of PBT are significantly improved with the addition of MPTW. Overall, the high-strength and wear-resistant PBT composites show potential application in the field of structural engineering plastic and mechanical transmission parts.

Keywords: potassium titanate; polybutylene terephthalate; crystallization behaviors; mechanical properties; fictional properties