

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.09.003

PP/PP-g-MAH/GS-EDA 纳米复合材料的制备及性能^{*}杨峰¹, 卞军¹, 何飞雄¹, 蔺海兰¹, 王刚¹, 周强¹, 李丝丝¹, 胡文梅¹, 鲁云²

(1. 西华大学材料科学与工程学院特种材料及制备技术重点实验室, 成都 610039; 2. 千叶大学工学研究所, 千叶 263-8522, 日本)

摘要: 采用聚丙烯(PP)接枝马来酸酐(PP-g-MAH)为增容剂,通过母料-熔融共混法制备了乙二胺(EDA)共价功能化改性石墨烯片(GS)(GS-EDA)掺杂的PP纳米复合材料。傅立叶变换红外光谱、X射线衍射和扫描电子显微镜、力学性能和熔体流动速率(MFR)测试表明,EDA已成功接枝于氧化石墨烯的表面;共混过程中,PP-g-MAH的酐基与EDA的氨基发生反应改善了共混体系的界面相容性;GS-EDA在母料-熔融共混过程中均匀分散于基体中;随着GS-EDA含量的增加,复合材料的拉伸强度先增大后降低,当GS-EDA质量分数为0.5%时,复合材料的拉伸强度达到最大值,比PP/PP-g-MAH提高了18.9%,比纯PP提高了13.4%;随着GS-EDA含量的增加,复合材料的MFR先增大后降低,在GS-EDA质量分数为0.5%时达到最大值。

关键词: 聚丙烯; 石墨烯; 纳米复合材料; 界面; 性能

中图分类号: TQ325.1+4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)09-0010-04

Preparation and Properties of PP/PP-g-MAH/GS-EDA Nanocomposites

Yang Feng¹, Bian Jun¹, He Feixiong¹, Lin Hailan¹, Wang Gang¹, Zhou Qiang¹, Li Sisi¹, Hu Wenmei¹, Lu Yun²

(1. Key Laboratory of Special Materials and Preparation Technologies, College of Materials Science and Engineering, Xi-Hua University, Chengdu 610039, China; 2. Graduate School and Faculty of Engineering, Chiba University, Chiba 263-8522, Japan)

Abstract: Polypropylene(PP) nanocomposites filled with ethylenediamine(EDA) covalently functionalized graphene oxide sheets(GS)(GS-EDA) were prepared by masterbatch-melting blending with PP-g-MAH being used as a compatibilizer. The effects of covalent functionalization and the microstructure of the resultant PP/PP-g-MAH/GS-EDA nanocomposites were characterized by means of Fourier transform infrared spectroscopy, X-ray diffraction and Scanning electron microscope. The mechanical properties and melt flow rate(MFR) of the nanocomposites were also been investigated. These results indicate that EDA is successfully grafted onto GS. The reactions between the GS-EDA and PP-g-MAH have been taken place during the blending process, which improves effectively the interfacial interactions of blending systems. PP-g-MAH plays the role of compatibilizer. GS-EDA has been dispersed well in the matrix. The tensile strength of the nanocomposites increases firstly and then decreases with increasing GS-EDA content, and reaches a maximum value when the mass fraction of GS-EDA is 0.5%, which is improved 18.9 % compared with PP / PP-g-MAH and 13.4% with pure PP; the MFR increases firstly, then decreases with increasing GS-EDA contents and achieves a maximum value at the 0.5% GS-EDA addition.

Keywords: polypropylene; graphene; nanocomposite; interfacial; property

石墨烯片(GS)是一种由碳原子以 sp^2 杂化轨道组成六角型呈蜂巢晶格的单层片状结构的新材料,是目前世上最薄却也最坚硬的纳米材料^[1]。当前,将GS与聚合物复合制备高性能聚合物基纳米复合材料已成为石墨烯研究和应用的热点^[2-3]。GS的加入可以有效地提高聚合物基体的力学性能、热学和导电性能而被看作是聚合物基复合材料理想的增强体。

聚丙烯(PP)是一种重要的热塑性塑料,因其具有质轻、良好的化学稳定性、综合力学性能好和易于加工成型等优良特性而获得了广泛的应用。但

PP的低温冲击韧性差、热稳定性差、非极性且不导电等不足限制了其在某些领域的应用。为了进一步提高PP的工业应用价值,研究发现,在PP基体

* 教育部春晖合作计划基金项目(Z2010097),四川省教育厅青年基金项目(11ZB005),西华大学特种材料与制备技术重点实验室开放研究基金项目(SZjj2012-020),西华大学“青年学者培养计划”基金(01201404)和西华大学“西华杯”大学生创新基金(2014060, 2014061),汽车高性能材料及成形技术四川省高校重点实验室开放研究基金项目(szjj2014-054)

联系人: 卞军,博士,硕士生导师,副教授,主要从事功能高分子复合材料的研究

收稿日期: 2014-06-17

中添加石墨烯可以改善 PP 的力学、热学和电学性能。K.Kalaitzidou 等^[4]和 Li Yunfeng 等^[5]分别制备了 GS 填充改性的 PP 基纳米复合材料。研究表明,GS 的加入改善了复合材料的热学、电学等性能。Y.S.Yun 等^[6]、M. C. Hsiao 等^[7]将 GS 进行功能化改性,并制备 PP 基纳米复合材料。研究发现,对 GS 的不同处理方法会影响 GS 在基体材料中的分散性和相容性,从而影响复合材料的力学、热学等性能。

为了促进 GS 在 PP 基体中的分散,改善 GS 与共混组分的界面相互作用,笔者以乙二胺(EDA)作为 GS 的功能化改性剂,以 PP-g-MAH 作为增容剂,并经母料-熔融共混法制备了不同 EDA 改性 GS(GS-EDA)含量的 PP/PP 接枝马来酸酐(MAH)(PP-g-MAH)/GS-EDA 纳米复合材料。通过傅立叶变换红外光谱(FTIR),X 射线衍射(XRD),扫描电子显微镜(SEM),拉伸和熔体流动速率(MFR)测试对材料的微观结构和性能进行了表征。

1 实验部分

1.1 主要试剂及原材料

PP:T30S,分子量为 587 000,密度为 0.899 g/cm³,MFR 为 2.6 g/(10 min),独山子石化公司;

PP-g-MAH:KT-1,接枝率为 1%,青岛绿维化工有限公司;

天然石墨粉(NGP):纯度>99%,粒径为 5 μm,青岛天和石墨有限公司;

NaNO₃,KMnO₄,H₂O₂(30%),浓 H₂SO₄(98%),N,N'-二环己基碳二亚胺(DCC),4-二甲氨基吡啶(DMAP),二甲基甲酰胺(DMF)、EDA,N-甲基吡咯烷酮(NMP),二甲苯,乙醇(95%),HCl(5%):成都科龙化工试剂厂。

1.2 主要设备及仪器

集热式恒温加热磁力搅拌器:DF-101S 型,郑州杜甫仪器厂;

超声波清洗机:SB-5200DTN 型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

混炼机:HL-200 型,吉林大学科教仪器厂;

平板硫化机:XL3 型,中国青岛亚东橡胶机有限公司;

FTIR 仪:TFS-135 型,美国 Nicolet 公司;

XRD 仪:DX2500 型,丹东方圆仪器有限公司;

SEM:JSM-6510LV 型,日本电子美国公司;

电子万能试验机:CMT6104 型,深圳三思纵横

科技股份有限公司;

MFR 仪:GT-7100-MI 型,高铁检测仪器有限公司。

1.3 试样制备

(1) 氧化石墨烯(GO)的制备。

采用改性的 Hummer's 法制备 GO。制备过程如下:将 46 mL 98% H₂SO₄ 加入干燥烧杯中,并用冰水浴将体系冷却至 4℃以下。在持续搅拌下加入预先混合好的 2 g NGP 和 1 g NaNO₃,之后再缓慢加入 5.6 g KMnO₄,维持搅拌并控制体系的温度低于 20℃,搅拌下使体系反应 5 min 后完成低温插层反应。将体系缓慢加热到 (35±3)℃,保持 30 min 以完成中温氧化。然后在上述体系中缓慢加入 92 mL 去离子水,同时控制体系温度保持在 100℃以下。最后将体系转移到 98℃的油浴锅中,控制体系温度在 80~100℃之间,继续反应 15 min 后,加入 142 mL 的去离子水以完成高温水解反应。接着加入 12 mL H₂O₂ 进一步氧化后,将体系趁热过滤,并用 200 mL 5% 的 HCl 溶液充分洗涤滤饼,去除体系中的 SO₄²⁻,最后调节体系 pH 值至中性。

(2) EDA 接枝 GO(GO-EDA)的制备。

在盛有 600 mL DMF 的烧瓶中加入未经干燥处理的 GO,40℃下超声(300 W)处理 30 min 后,再向该体系加入 10 g DCC,2 g DMAP 和 100 mL EDA,继续超声(300 W)处理 30 min。将体系转移至 50℃的水浴锅中反应 8 h。反应完毕后趁热过滤,并用 100 mL 的 DMF 洗涤除去未反应的 EDA。

(3) GS-EDA 的制备。

将所得 GO-EDA 超声(300 W)分散于 380 mL NMP 中,然后使体系在 180℃下回流、搅拌反应 12 h 以完成还原反应。反应结束后,待体系冷却至 90℃左右,趁热过滤,并用 100 mL DMF 洗涤。所得 GS-EDA 在 60℃下干燥 12 h 后研磨过筛,保存备用。

(4) PP-g-MAH/GS-EDA 母料的制备。

将 948 mg GS-EDA 超声(300 W)分散于 360 mL 二甲苯中,140℃加热回流下加入 18 g PP-g-MAH,待完全溶解后继续反应 3 h,随后抽滤、所得产物在 70℃下彻底烘干。

(5) PP/PP-g-MAH/GS-EDA 纳米复合材料的制备。

采用母料-熔融共混法制备 GS-EDA 质量分数分别为 0.25%,0.5%,1%,2% 的纳米复合材料。

其中 PP 与 PP-g-MAH 质量比为 1 : 1。具体制备过程(以质量分数为 1% 的 GS-EDA 的 PP/PP-g-MAH/GS-EDA 纳米复合材料的制备过程为例):将定量的母料、PP 和 PP-g-MAH 混合均匀后,在混炼机上于 240℃ 下混炼 15 min,螺杆转速为 40 r/min。所得共混物经平板硫化机热压成片材,热压温度为 200℃、压力为 10 MPa。片材经裁片得到哑铃型试样。

1.4 性能测试与表征

FTIR 测试: NGP, GO 和 GS-EDA 粉末采用 KBr 压片制样。PP/PP-g-MAH/GS-EDA 纳米复合材料试样为热压的片材。

XRD 测试: 测试条件 40 kV, 200 mA, $\text{CuK}\alpha$, $\lambda=0.154$ nm, 扫描角度为 $0^\circ \sim 60^\circ$, 扫描速度为 $1.2^\circ/\text{min}$ 。NGP, GO 和 GS-EDA 样品为粉末形式。PP/PP-g-MAH/GS-EDA 纳米复合材料为热压片材。

SEM 测试: 对不同配比的纳米复合材料拉伸断面进行 SEM 观察并拍照。试样测试前表面经喷金处理。

拉伸性能按 GB/T 1040-1992/IF 测试,拉伸速度为 20 mm/min。每个配比测试 5~6 个试样并取平均值。

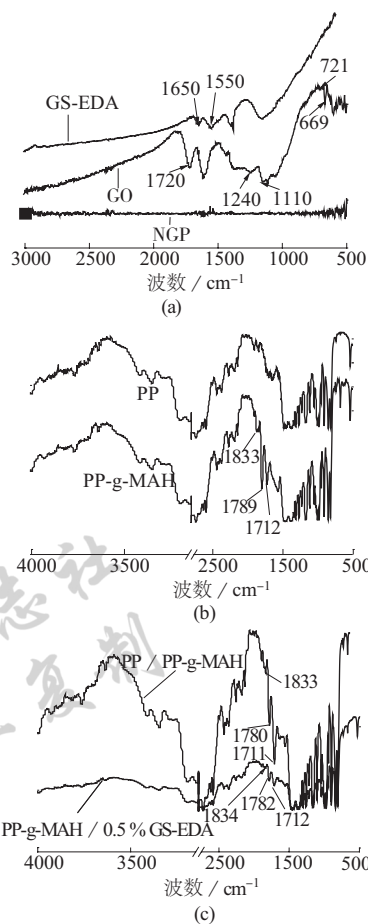
MFR 按 GB/T 3682-2000 测试,实验温度为 170℃,负荷为 2.16 kg。

2 结果和讨论

2.1 FTIR 分析

NGP, GO 和 GS-EDA 以及 PP, PP-g-MAH, PP/PP-g-MAH, PP/PP-g-MAH/GS-EDA 的 FTIR 谱图如图 1 所示。由图 1a 可以看出, NGP 没有出现特征吸收峰,表明 NGP 上没有任何官能团。GO 的红外光谱出现的特征吸收峰分别是: 1720 cm^{-1} 处为羧基(或羰基)中 $\text{C}=\text{O}$ 的伸缩振动峰、 1240 cm^{-1} 处为 $\text{C}-\text{O}-\text{H}$ 中 $\text{C}-\text{O}$ 键的伸缩振动峰、 1110 cm^{-1} 处为环氧基团 $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ 的伸缩振动峰,表明 GO 上存在含氧官能团,这些含氧官能团的存在为 GO 片的进一步功能化提供了前提条件。GS-EDA 的 FTIR 谱图出现的特征吸收峰分别是: 1650 cm^{-1} 处为酰胺基中羰基的伸缩振动峰、 1550 cm^{-1} 处为亚氨基($-\text{NH}-$)的弯曲振动和 $\text{C}-\text{N}$ 伸缩振动峰,表明二级酰胺键($-\text{CO}-\text{NH}-$)的存在,即 EDA 已成功地接枝到 GS 片上。接枝机理是 EDA 上的氨基与 GO 片表面的羧基或环氧基

团发生酰化反应或开环反应^[8]将其接枝到 GO 表面,如图 2 所示。



a—NGP, GO, GS-EDA; b—PP, PP-g-MAH;
c—PP/PP-g-MAH, PP/PP-g-MAH/GS-EDA

图 1 NGP, GO 和 GS-EDA 以及 PP, PP-g-MAH, PP/PP-g-MAH, PP/PP-g-MAH/GS-EDA 的 FTIR 谱图

从图 1b 可以看出, PP 和 PP-g-MAH 的红外光谱在波数为 $1600 \sim 1900\text{ cm}^{-1}$ 之间的特征吸收峰明显不同, PP-g-MAH 在 $1712, 1789\text{ cm}^{-1}$ 和 1833 cm^{-1} 附近有酰基 $\text{MAH}(-\text{C}=\text{O})$ 的特征吸收峰。图 1c 分别是 PP/PP-g-MAH 和质量分数为 0.5% 的 GS-EDA 的 PP/PP-g-MAH/GS-EDA 复合材料的 FTIR 谱图。对比发现, PP/PP-g-MAH 的 FTIR 谱图为图 1b 中的 PP 和 PP-g-MAH 的 FTIR 谱图的简单叠加,表明 PP 和 PP-g-MAH 无明显的相互作用,这因为二者的极性不同,为典型的不相容体系。加入质量分数为 0.5% 的 GS-EDA 后, PP/PP-g-MAH/GS-EDA 在 1782 cm^{-1} 处的特征吸收峰向低波数移动,这是 PP-g-MAH 中的 MAH 与 GS-EDA 上的氨基发生氢键和化学作用引起的^[9]。这也间接证明了 PP-g-MAH 在该复合材料中起到

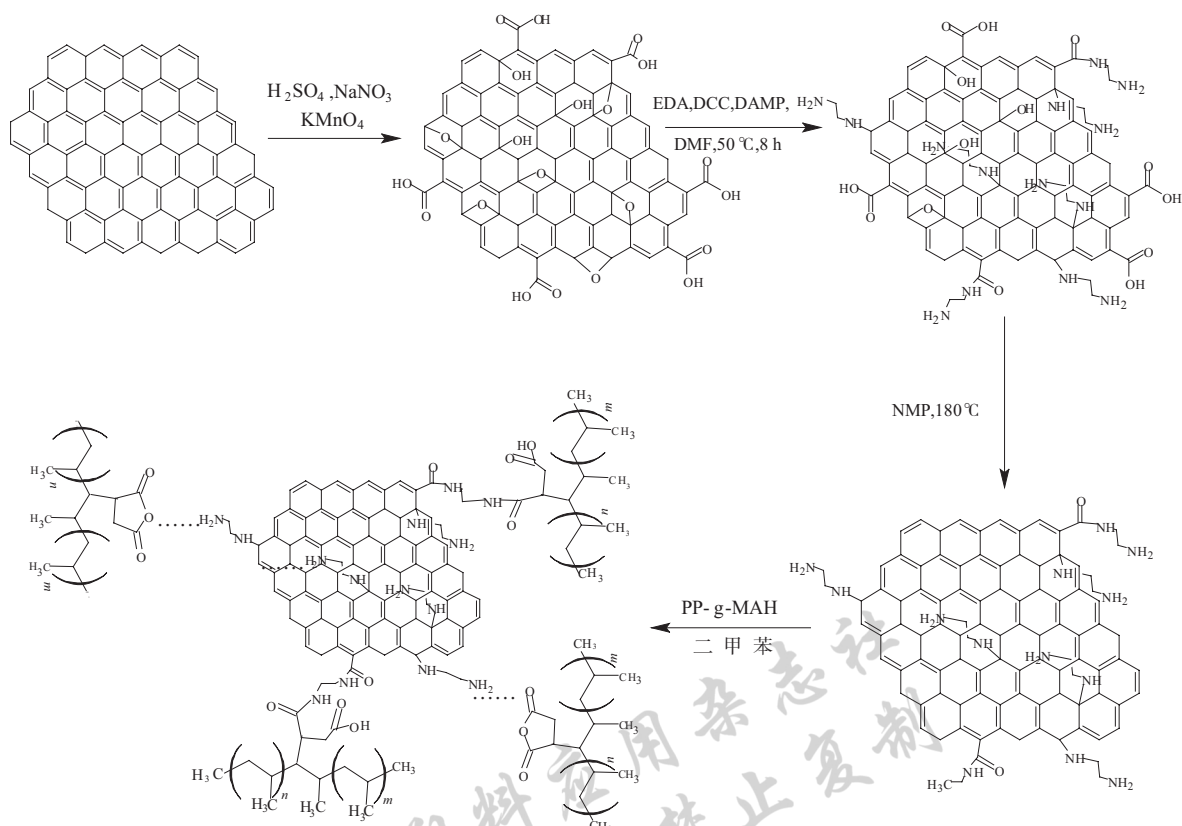


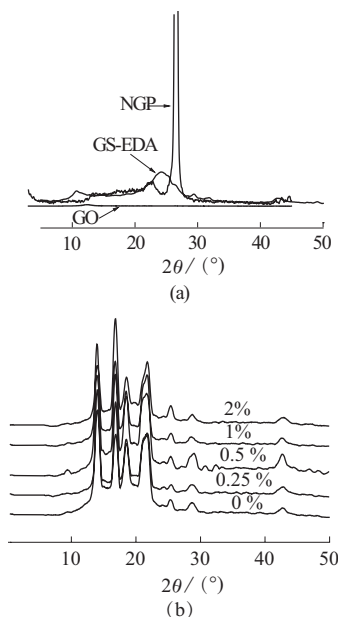
图2 NGP的氧化、接枝、还原过程,以及PP-g-MAH与GS-EDA之间的氢键及化学键作用模型

了增容剂的作用。NGP的氧化、接枝、还原过程,以及PP-g-MAH与GS-EDA之间的化学作用的模型如图2所示。

2.2 XRD分析

图3是NGP, GO, GS-EDA和PP/PP-g-MAH/GS-EDA纳米复合材料的XRD谱图。由图3a可见,NGP在 $2\theta=26.6^\circ$ 显示出了其特征的(002)衍射峰,对应的石墨片层间距为0.335 nm。而GO在 $2\theta=12.4^\circ$ 显示出了其特征的(001)衍射峰,此时的片层间距为0.713 nm,石墨层间距增大是由于NGP氧化过程中在石墨烯片层表面和内部引入大量的含氧官能团所致(如图1所示)。与GO相比,GS-EDA的特征衍射峰出现在 $2\theta=24.3^\circ$ 处,石墨烯片层间距为0.366 nm,表明GO-EDA被有效还原为GS-EDA。图3b分别是GS-EDA质量分数为0, 0.25%, 0.5%, 1%, 2%的PP/PP-g-MAH/GS-EDA纳米复合材料的XRD谱图。在 $2\theta=10^\circ\sim 25^\circ$ 之间出现的特征衍射峰分别归属于PP的单斜 α 结晶($110, 2\theta=13.96^\circ$), ($040, 2\theta=16.84^\circ$), ($130, 2\theta=18.52^\circ$)和($111, 2\theta=21.76^\circ$)。特别是在 $2\theta=24.3^\circ$ 处,PP/PP-g-MAH显示出一个较弱的衍射峰,而加入不同含量的GS-EDA后,此峰并没有增强。可解释为

加入的GS-EDA量过少;GS-EDA在 $2\theta=24.3^\circ$ 处的衍射峰与PP/PP-g-MAH的重合,未发现明显的GS-EDA特征衍射峰,说明在复合材料的制备过程



a—NGP, GO 和 GS-EDA ;

b—PP/PP-g-MAH/GS-EDA 纳米复合材料

图3 NGP, GO, GS-EDA 和 PP/PP-g-MAH/GS-EDA 纳米复合材料的 XRD 谱图

中,GS-EDA 已经均匀地分散于 PP/PP-g-MAH 中,这将在 SEM 表征中进一步证实。

2.3 拉伸性能

图 4 是 PP 和 PP/PP-g-MAH 及不同 GS-EDA 含量的 PP/PP-g-MAH/GS-EDA 纳米复合材料的典型应力-应变曲线;图 5 是不同 GS-EDA 含量的 PP/PP-g-MAH/GS-EDA 纳米复合材料的拉伸强度的变化曲线。由图 4 可以看出,纯 PP 在外力作用下具有较大的断裂伸长率达到了 388%,而 PP/PP-g-MAH 及不同 GS-EDA 含量的 PP/PP-g-MAH/GS-EDA 纳米复合材料的断裂伸长率普遍低于 10%,这说明了 PP-g-MAH 和 GS-EDA 的加入使得复合材料脆性增加。

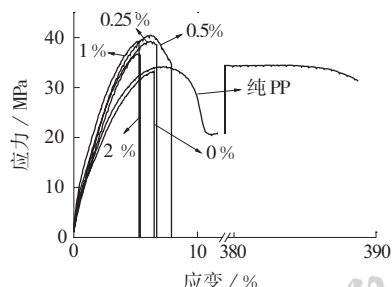


图 4 PP, PP/PP-g-MAH 及 PP/PP-g-MAH/GS-EDA 纳米复合材料的应力-应变曲线

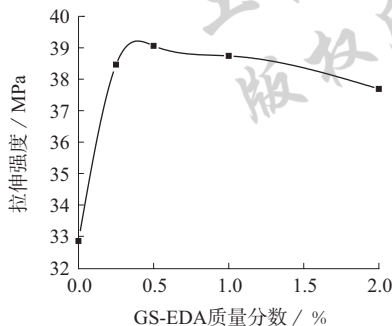


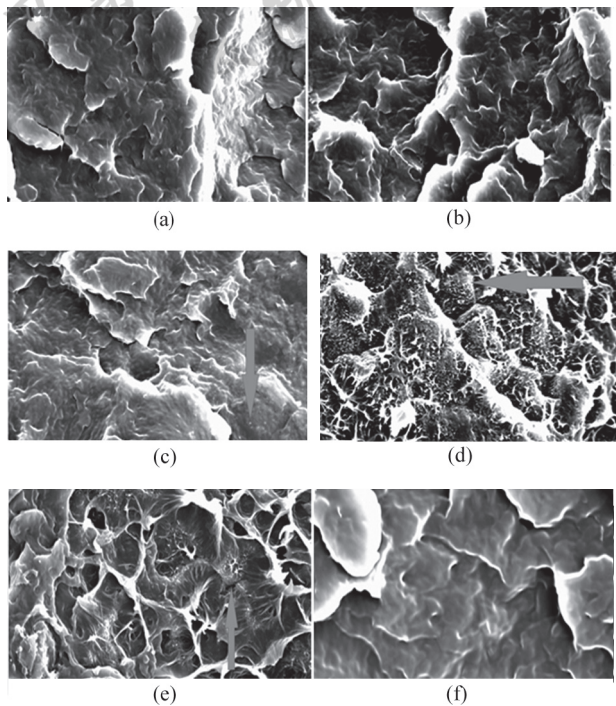
图 5 GS-EDA 含量对纳米复合材料拉伸强度的影响

由图 5 可以看出,纳米复合材料的拉伸强度随 GS-EDA 含量的增加先增大后降低,当 GS-EDA 质量分数为 0.5% 时拉伸强度达到最大值 39.09 MPa,比 PP/PP-g-MAH (32.88 MPa) 提高了 18.9%,比纯 PP (34.47 MPa) 提高了 13.4%。表明,GS-EDA 对 PP 基体具有补强作用。当加入少量 GS-EDA 时,其能很好地分散于基体中,但随着其含量的不断增加,在基体中发生团聚的几率增大,从而导致缺陷的形成,复合材料的拉伸性能降低。已有研究表明^[10],力学性能随填料含量的变化出现的临界点与填料在基体中完全形成三维网络时填料的添加临界值(GS-EDA 添加量的阈值)具有某种关联,即在

该临界值时填料三维网络完全形成。从图 5 可见,GS-EDA 添加量的阈值在 0.5% 前后。GS-EDA 本身具有很高的力学性能,加之其在 PP/PP-g-MAH 基体中良好分散及二者界面相互作用,导致其对 PP/PP-g-MAH 基体具有很好的增强效果。

2.4 SEM 分析

图 6 是不同 GS-EDA 含量的 PP/PP-g-MAH/GS-EDA 复合材料的 SEM 照片。由图 6a 可以看出,PP/PP-g-MAH 共混物的拉伸断面较为光滑,表明共混体系在拉伸过程中为脆性断裂。在图 6b,图 6c 中,没有明显地看到 GS 的存在,表明 GS-EDA 含量较低时,其能均匀地分散在基体中。随着 GS-EDA 含量逐渐增大,GS 相互接触的机会增大,分散变得困难,将产生局部团聚,如图 6d,图 6e 所示。在拉伸应力作用下,团聚的石墨烯将成为材料内部的薄弱点,诱发应力集中,从而导致复合材料的拉伸强度降低,这与力学性能测试的结果是一致的。



GS-EDA 质量分数: a—0%; b—0.25%; c—0.5%;

d—1%; e—2%; f—0.5%

a,b,c,d,e 均放大 1000 倍, f 放大 2000 倍

图 6 不同 GS-EDA 含量的 PP/PP-g-MAH/GS-EDA 纳米复合材料的 SEM 照片

2.5 MFR 分析

图 7 为 GS-EDA 含量对 PP/PP-g-MAH/GS-EDA 纳米复合材料 MFR 的影响。从图 7 可以看出,GS-EDA 作为无机填料加入 PP 基体中,会

对复合材料的 MFR 产生影响。随着 GS-EDA 含量在一定范围内增加,复合材料的流动性增大,在 GS-EDA 质量分数为 0.5% 左右达到最大,之后随着 GS-EDA 含量的增加,复合材料的流动性逐渐下降。可见,当 GS-EDA 的质量分数为 0.5% 时 MFR 出现阈值。这是由于适量的 GS-EDA 能够均匀地分散在基体中(见图 6 分析结果),能减小 PP 大分子链之间的缠绕程度,从而使 MFR 增大;而随着 GS-EDA 含量进一步增加,其分散变得困难,相互作用的机会增大并导致团聚,这不仅不能减小 PP 大分子链之间的缠绕程度,反而使流体单元变大,最终导致 MFR 降低。

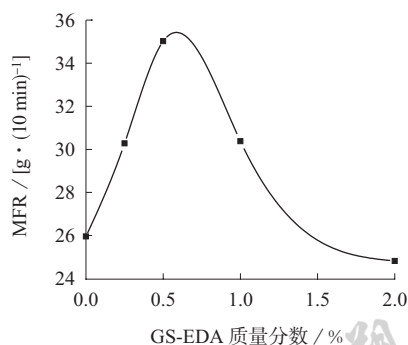


图 7 GS-EDA 含量对 PP/PP-g-MAH/GS-EDA 复合材料 MFR 的影响

3 结论

(1) FTIR 分析表明, EDA 成功接枝于 GS 的表面。熔融共混过程中 PP-g-MAH 的酸酐基与 GS-EDA 的氨基形成氢键作用, PP-g-MAH 改善了 PP 与 GS-EDA 之间的相容性。

(2) XRD 和 SEM 分析表明,在 GS-EDA 含量较低时(质量分数 <0.5%), GS-EDA 能均匀分散于基体中;而在 GS-EDA 含量较高时(质量分数 >0.5%), GS-EDA 发生了局部团聚现象。

(3) 拉伸性能分析表明,随着 GS-EDA 含量的增加, PP/PP-g-MAH/GS-EDA 纳米复合材料拉伸强度呈现先增大后下降的趋势。当 GS-EDA 质

量分数为 0.5% 时,拉伸强度达最大值 39.09 MPa,比纯 PP 提高了 13.4%,较 PP/PP-g-MAH 提高了 18.9%。

(4) MFR 分析表明,随着 GS-EDA 含量的增加,复合材料的 MFR 先增大后降低,在 GS-EDA 质量分数为 0.5% 处达到最大值。

参考文献

- [1] Geim A K, Novoselov K S. The rise of graphene[J]. Nat Mater, 2007,6(3):183-191.
- [2] Stankovich S, Dikin D A, Dommett G H B, et al. Graphene-based composite materials[J]. Nature, 2006, 442(7100):282-286.
- [3] Huang Xiao, Qi Xiaoying, Zhang Hua, et al. Graphene-based composites[J]. Chem Soc Rev, 2012, 41(2):666-686.
- [4] Kalaitzidou K, Fukushima H, Drzal L T. Multifunctional polypropylene composites produced by incorporation of exfoliated graphite nanoplatelets[J]. Carbon, 2007, 45(7):1 446-1 452.
- [5] Li Yunfeng, Zhu Jiahua, Wei Suying, et al. Poly(propylene) / graphene nanoplatelet nanocomposites: melt rheological behavior and thermal, electrical, and electronic properties[J]. Macromolecular Chemistry and Physics, 2011, 212(18):1 951-1 959.
- [6] Yun Y S, Bae Y H, Kim D H, et al. Reinforcing effects of adding alkylated graphene oxide to polypropylene[J]. Carbon, 2011, 49(11):3553-3559.
- [7] Hsiao M C, Liao S H, Lin Y F, et al. Preparation and characterization of polypropylene-graft-thermally reduced graphite oxide with an improved compatibility with polypropylene-based nanocomposite[J]. Nanoscale, 2011, 3(4):1516-1522.
- [8] Wu Chao, Huang Xingyi, Wang Genlin, et al. Hyperbranched-polymer functionalization of graphene sheets for enhanced mechanical and dielectric properties of polyurethane composites[J]. J Mater Chem, 2012, 22(14):7 010-7 019.
- [9] Lin Yue, Jin Jie, Song Mo. Preparation and characterisation of covalent polymer functionalized graphene oxide[J]. Journal of Materials Chemistry, 2011, 21(10):3 455-3 461.
- [10] Thongruang W, Spontak R J, Balik C M. Correlated electrical conductivity and mechanical property analysis of high-density polyethylene filled with graphite and carbon fiber[J]. Polymer, 2002, 43(8):2 279-2 286.

新型冷却色母助力降低塑料大棚温度

据以色列媒体报道,田间试验证实,融入 Tosaf 公司 IR8783PE 冷却色母所生产的温室薄膜具有出色的降温功效。与传统塑料薄膜相比,该采用特殊配方的薄膜能将温室大棚内气温至少降低 5℃。

IR8783PE 色母专为温室薄膜倾心打造,旨在降低大棚内气温,为热带地区植物提供更好的生长环境。研究人员称,融入 IR8783PE 色母所生产的薄膜能有效阻挡近红外光谱

(NIR),防止大棚内气温骤然升高。与此同时,植物生长所需的光合成有效辐射(PAR)能够穿过薄膜进入温室而不受影响。

新型薄膜能调节温差,为植物生长提供一个恒温环境,能有效避免白天大幅升温、夜间骤然降温的现象,具有传统薄膜不可比拟的优越性。Tosaf 称, IR8783PE 色母适用于单层,3 层以及 5 层温室薄膜之中,每 200 μm 薄膜中可融入 5% 的该种物质。(色母粒网)