

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.08.002

EP/GNs/MWCNTs 复合材料的导热性能^{*}

夏雨,焦剑,崔永红,赵莉珍

(西北工业大学理学院应用化学系,西安 710129)

摘要:以多壁碳纳米管(MWCNTs)和石墨烯纳米微片(GNs)为导热填料,环氧树脂(EP)为基体采用溶剂和超声分散法,制备了EP/GNs/MWCNTs导热复合材料,并与EP/MWCNTs及EP/GNs复合材料的导热性能进行了对比。采用透射电子显微镜观察其微观结构,采用Hot Disk热导率测试仪测试其导热性能,采用差示扫描量热法和热重分析仪测试其耐热性及热稳定性。结果表明,MWCNTs和GNs共同作为EP导热填料时,相比于单组分填料(MWCNTs或GNs)更易形成导热网络;EP的热导率、玻璃化转变温度(T_g)和热分解温度均随着MWCNTs或GNs含量的增加而提高,其中,GNs更有利于提高EP的热导率和热分解温度,MWCNTs更有利于提高EP的 T_g 。在相同的导热填料含量下,相对于其中的任一单一填料,MWCNTs/GNs共同作用时,对热导率的提高有更显著的效果,且随着其中GNs比例的增加,热导率逐渐增大。当GNs和MWCNTs的体积分数分别为0.6%和0.4%时,EP/GNs/MWCNTs复合材料的热导率、 T_g 和起始分解温度分别为0.565 W/(m·K),152℃和316℃,分别比纯EP提高了132.5%,34.5%和8.2%。

关键词:石墨烯纳米微片;多壁碳纳米管;环氧树脂;导热网络;热导率

中图分类号: TQ323.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)08-0007-06

Thermal Conductivity of EP/GNs/MWCNTs Composites

Xia Yu, Jiao Jian, Cui Yonghong, Zhao Lizhen

(Department of Applied Chemistry, School of Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: Multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) and graphene nanosheets (GNs) were used as thermal conductive filler, epoxy resin (EP) was used as matrix, the EP/GNs/MWCNTs composites were prepared by solvent and ultrasonic dispersion method, the thermal conductive property of which was compared to EP/MWCNTs and EP/GNs composites. Transmission electron microscope were used to analyze the microstructure of the composites. Hot Disk thermal conductivity meter was used to measure the thermal conductivity of the composites. Differential scanning calorimetry and thermal gravimetric analyzer were used to analyze the heat resistance and thermal stability of the composites. The experimental results demonstrate that it's easier to form thermal conductive network in composites using the mixed fillers MWCNTs and GNs than using one single kind. The thermal conductivity, glass transition temperature (T_g) and thermal decomposition temperature of EP increase gradually as the content of MWCNTs or GNs increases. Among these, GNs is more beneficial to improve the thermal conductivity and thermal decomposition temperature, MWCNTs is more beneficial to improve T_g . Under the same contents of the fillers, the composites with mixed filler does better than the one with single kind of filler in improving heat-conductivity properties, and the thermal conductivity of the composites increase as the content of GNs in the mixing GNs/MWCNTs fillers increases. When the volume fraction of GNs and MWCNTs is 0.6% and 0.4% respectively, the thermal conductivity, T_g and initial thermal decomposition temperature of EP/GNs/MWCNTs composite is 0.565 W/(m·K), 152℃ and 316℃ separately, which improves by 132.5%, 34.5% and 8.2% compared with pure EP.

Keywords: graphene nanosheet; multi-walled carbon nanotube; epoxy resin; thermal conductive network; thermal conductivity

随着微电子集成技术和微电子高密度组装技术的快速发展,电子设备的组件逐渐向高度集成、模块化转变,这使得电子设备能够实现轻薄、功能多样等特性,但同时电子设备在正常运转时会伴随有大量的热产生,散热问题已经成为高性能电子器件设计中的重要制约因素^[1]。复合材料在电子设备中的

用量较大,其热导率的高低对于电子设备的散热效果有直接的影响,利用高导热填料来提高电子设备中复合材料的热导率是目前已成熟应用的方案。

^{*} 国家自然科学基金项目(51373135)

联系人:焦剑,博士,副教授,主要研究方向为介孔二氧化硅

收稿日期:2016-05-20

为提高复合材料热导率,通常加入的高导热型填料包括炭黑、氧化铝、氮化铝、二氧化硅、氮化硼、铝粉、铜粉、氧化锌等^[2-5]。当填料含量(体积分数)较高时,复合材料热导率会有较大的改善。

经典导热理论认为当导热填料掺杂量超过一定量时,就会形成大量的有效导热媒介,即导热网络,此时体系内存在大量的相互接触的粒子,孤立粒子可视为不存在。而当体系形成导热网络时,复合材料的热导率大大增加^[6]。因此导热填料的加入量必须满足形成导热网络的最低含量要求才能明显提高复合材料的热导率。但大量导热填料的加入,有可能因相对密度较大而产生沉降,使复合材料的结构不均匀;同时大量的导热填料加入会使材料黏度增大,不利于成型加工;高含量的导热填料也会在复合材料中发生团聚,使复合材料出现力学性能下降等不利现象^[7-8]。

多壁碳纳米管(MWCNTs)、单壁碳纳米管(SWCNTs)、石墨烯纳米微片(GNs)等碳基纳米材料以其低相对密度、超高热导率等优势受到人们广泛关注^[9-10]。其中,构成石墨的单层石墨烯片的导热系数高达 $800\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,MWCNTs的轴向理论热导率甚至高达 $3000\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。如S. Y. Pak等^[11]以氮化硼(BN)粉末及MWCNTs改性聚苯硫醚(PPS),当BN体积分数为50%时,复合材料热导率为 $1.00\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$;当BN和MWCNTs体积分数分别为50%和1%时,复合材料热导率提高到 $1.45\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$;C. C. Teng等^[12]同样报道了多组分填料改善聚合物导热性能的研究,采用体积分数分别为25%和1%的氮化铝及MWCNTs可使环氧树脂(EP)基复合材料的热导率达到 $1.21\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。由于MWCNTs和GNs的超高比表面积,当添加量较高时体系黏度迅速增加,因此两者的添加量都不宜太高。

为制备一种填料含量较低、成本低廉、具有较高热导率、易于加工成型的导热型复合材料,笔者将MWCNTs和GNs共同作为导热填料改性EP,利用两者不同结构形成的协同作用,以求在较低导热填料含量下就能形成完善的导热网络,从而更高效地提高复合材料的导热性能,同时改善EP的耐热性。为了使填料在EP基体中达到均匀分散,采用超声分散法制备了EP/MWCNTs,EP/GNs和EP/GNs/MWCNTs复合材料,并研究了复合材料的微观结构,探讨了填料含量、类型对复合材料热导率及耐热性的影响。

1 实验部分

1.1 主要原材料

双酚A型EP(E-51):工业品,大连齐化化工有限公司;

三乙烯四胺(TETA):95%,天津市福晨化学试剂厂;

MWCNTs:外径为 $10\sim 20\text{ nm}$,比表面积 $>200\text{ m}^2/\text{g}$,中国科学院成都有机化学所;

GNs:厚度 $<30\text{ nm}$,厦门凯纳石墨烯技术有限公司。

1.2 主要设备及仪器

高功率数控超声波清洗器:KQ-200KDE型,昆山市超声仪器有限公司;

超声波细胞粉碎机:JY92-IIN型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

集热式恒温加热磁力搅拌器:DF-101S型,巩义市予华仪器有限责任公司;

电热恒温真空干燥箱:YLD-2000型,西安予辉仪器有限公司;

透射电子显微镜(TEM):LEM2100型,日本Jeol公司;

热导率测定仪:Hot Disk 2500S型,瑞典Hot disk公司;

差示扫描量热(DSC)仪:TAMDSC-2910型,瑞士梅特勒-托利多公司;

热重(TG)分析仪:TGA-2050型,瑞士梅特勒-托利多公司。

1.3 复合材料的制备

取一定量的MWCNTs(或GNs),将其分散在丙酮溶液中,在 80°C 的条件下真空干燥 24 h ,得到干燥的MWCNTs(或GNs),备用。

取 100 g 的EP、一定量的MWCNTs(或GNs),分散在 200 mL 丙酮中,用超声波细胞粉碎机在 600 W 功率下超声分散 30 min ,然后用超声波清洗器处理 30 min ;将所得混合物利用恒温磁力搅拌器,分别在 $40,60,80^\circ\text{C}$ 下搅拌 2 h ,粗略地除去其中的丙酮。然后转移到电热恒温真空干燥箱内, 120°C 真空保压 12 h ,以尽量除尽残留丙酮;保压结束后,自然冷却到室温,加入 12 g 的TETA,搅拌均匀,迅速浇铸;依次按照室温/ 24 h , $60^\circ\text{C}/2\text{ h}$, $80^\circ\text{C}/2\text{ h}$, $100^\circ\text{C}/2\text{ h}$ 的流程固化,固化结束自然冷却至室温,制得EP/MWCNTs和EP/GNs复合材料。采用相同工艺制得EP/GNs/MWCNTs复合材料,其配方设计如表1所示。

表 1 EP/GNs/MWCNTs 复合材料各组分的体积分数 %

复合材料编号	EP	GNs	MWCNTs
1 [#]	99	0.0	1.0
2 [#]	99	0.4	0.6
3 [#]	99	0.5	0.5
4 [#]	99	0.6	0.4
5 [#]	99	1.0	0.0

1.4 性能测试与结构表征

TEM 分析: 加速电压为 75 kV, 将试样在常温下进行超薄切片, 切片厚度约为 80 nm, 切片面积约为 1 mm², 利用 TEM 观察试样切片并拍照。

热导率测试: 热导率按 ASTM E1461-2013 测试, 通过热扩散系数, 比热和密度的乘积进行计算; 试样密度用体积排除法测量; 所有试样均为直径 12.6 mm 的圆柱, 厚度为 0.5~0.6 mm; 所有试样的两个表面均应平整光滑, 测试前需在试样两面均匀喷涂薄石墨层。

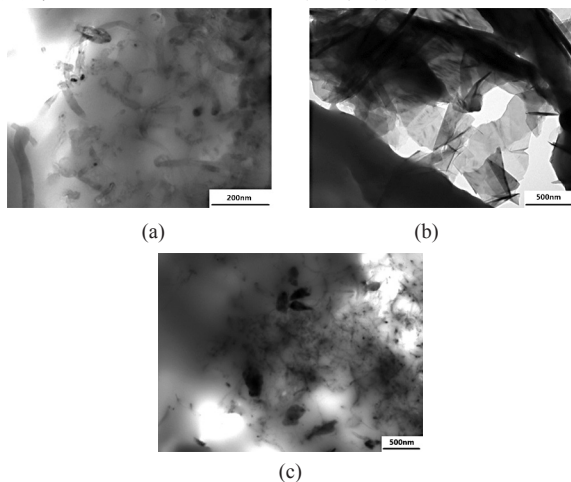
DSC 分析: 采用 DSC 仪测试复合材料玻璃化转变温度 (T_g), N₂ 氛围, 升温速率 10℃/min, 升温范围 25~250℃。

TG 分析: 采用 TG 分析仪对复合材料的耐热性进行测试, N₂ 氛围, 升温速率 10℃/min, 升温范围 25~600℃。

2 结果与讨论

2.1 复合材料的微观结构分析

图 1 为 EP/MWCNTs, EP/GNs 和 EP/GNs/MWCNTs 复合材料的 TEM 照片, 在前两种复合材料中, 导热填料的体积分数均为 1%, 在三元复合材料中, GNs 和 MWCNT 的体积分数均为 0.5%。



a—EP/MWCNTs 复合材料; b—EP/GNs 复合材料;

c—EP/GNs/MWCNTs 复合材料

图 1 3 种复合材料的 TEM 照片

从图 1a 可以看出, MWCNTs 在树脂基体中分散相对均匀, 且大量 MWCNTs 已经出现了相互搭

接现象, 进而形成了导热网络。在复合材料中这种网络作为导热通路有利于热量的传输, 进而提高了复合材料的热导率。

从图 1b 可以看出, GNs 在树脂基体中相互接触, 对形成导热通路提高复合材料的热导率有所帮助, 但是含量过高的 GNs 已经在树脂基体中相互堆叠, 分散不均匀, 对导热网络的形成不利, 有可能降低 GNs 的热导率改善效果, 并且损害复合材料的力学性能等。

从图 1c 可以看出, GNs 之间存在大量的 MWCNTs, MWCNTs 相当于 GNs 之间的桥梁, 使本不相互接触的 GNs 通过 MWCNTs 连接起来, 形成了更多的导热通道, 两种填料协同作用, 可提高两种填料对复合材料导热性能的改善效果。如果单一填充 MWCNTs, 即便加大 MWCNTs 的含量, MWCNTs 之间搭接也是点接触, MWCNTs 之间声子传递效率较低。如果单一填充 GNs, 片状的 GNs 之间的接触为边缘搭接, 继续增大 GNs 含量, 会出现大量的 GNs 堆叠, 从而导致分散不均匀使 GNs 不能完全用于形成良好的导热网络, 使改善热导率的效果不佳, 同时可能使复合材料的力学性能下降。

2.2 复合材料的热导率分析

图 2 为导热填料含量对 EP/MWCNTs 和 EP/GNs 复合材料热导率的影响。从图 2 可以看出, 纯 EP 的热导率为 0.243 W/(m·K), 随着 MWCNTs 和 GNs 含量的不断增加, 两种复合材料的热导率也随之增加。当导热填料体积分数达到 1.2% 时, EP/MWCNTs 和 EP/GNs 复合材料的热导率分别达到了 0.316, 0.487 W/(m·K), 相比于纯 EP, 分别提高了 30% 和 100%。并且导热填料含量相同时, EP/GNs 复合材料的热导率始终高于 EP/MWCNTs 复合材料。遵循导热网络理论, 可以预期, 填料量继续提高, 将使复合材料的热导率持续提高到平衡值。GNs 以及 MWCNTs 的热导率分别为 800, 3000 W/(m·K), 因此加入更多的这两种导热填料将使复合材料的热导率有更显著的提高。但在研究中发现, 当导热填料体积分数达到 1.2% 以上时, 体系黏度快速增大, 复合材料成型过程中极易产生气泡等缺陷, 且填料在其中分散不均匀, 所得样品结构较差, 这也是目前纳米复合材料制备过程亟待解决的问题。这种不均匀的结构不利于对其微观结构的表征, 也会导致力学性能下降严重, 因此将导热填料体积分数上限定在 1.2%, 在此范围内来研究导热填料微

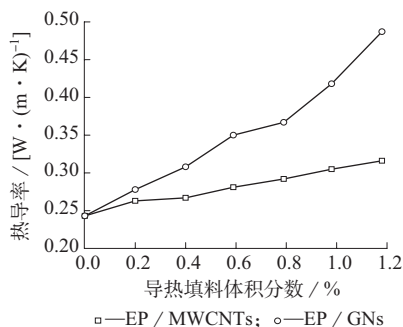


图2 不同导热填料含量下 EP/MWCNTs 和 EP/GNs 复合材料的热导率

观结构与热导率的影响规律。

两种填料对 EP 复合材料热导率都有明显增强效果,这是因为两种填料在复合材料中都能形成导热网络,从而提高了热量传输的效率,进而提高了复合材料的热导率。在 EP/MWCNTs 复合材料中,不相互接触的 MWCNTs 间的声子传热需要通过 EP 基体。由于 MWCNTs 与 EP 基体在刚性上的差异,它们之间的传热是通过低频声子耦合进行,即 MWCNTs 中高频声子所包含的热能须先通过声子耦合转化为低频声子模式,再向 EP 基体传递热能^[13]。由于管状的 MWCNTs 含量较低并且未能充分伸展,不同碳管间接触的概率较低,声子在不同碳管之间传递时需要经过热阻较高的 EP,因此 MWCNTs 对复合材料热导率的增强效果相对较低。在 EP/GNs 复合材料中,片状的石墨烯充分展开,相比于管状的 MWCNTs,彼此接触的概率较大,形成的导热通路数量大大增加。因此相同导热填料含量下,EP/GNs 复合材料的热导率始终高于 EP/MWCNTs 复合材料。

图3为不同含量的 GNs/MWCNTs 复合填料对 EP/GNs/MWCNTs 复合材料热导率的影响。从图3可看出,GNs/MWCNTs 复合填料的加入,使得复合材料的热导率有了更大的提高。当 GNs 的体积分数达到 1% 时,EP/GNs 复合材料的热导率为 0.418 W/(m·K),当 MWCNTs 体积分数为 1% 时,EP/MWCNTs 复合材料的热导率为 0.305 W/(m·K),而 EP/GNs/MWCNTs 复合材料中导热填料总体积分数为 1% 时,复合材料的热导率均高于 0.46 W/(m·K),且随着 GNs 所占比例的增加,复合材料的热导率也随之增加,当 GNs 和 MWCNTs 的体积分数分别为 0.6% 和 0.4% 时,复合材料的热导率达到 0.565 W/(m·K),比纯 EP 的热导率提高了 132.5%,分别比导热填料体积分数为 1% 的 EP/GNs 和 EP/MWCNTs 复合材料提高了 35% 和 85%。

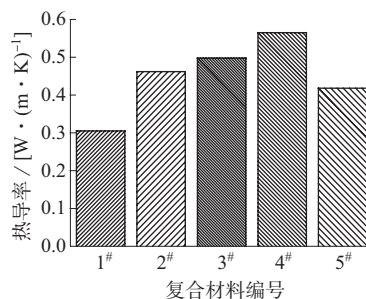


图3 不同 GNs/MWCNTs 复合填料含量下 EP/GNs/MWCNTs 复合材料的热导率

复合填料对提高复合材料热导率效果更明显,这是因为在 EP/GNs/MWCNTs 复合材料中,未接触的 GNs 中间填充了大量的 MWCNTs,类似于微纤结构的 MWCNTs 充当片状 GNs 的“导线”,MWCNTs 与未接触的 GNs 搭接,大大增加了导热通路形成的几率,从而在复合材料内部形成了更为完善的三维交织导热网络^[14],提高了声子的传递效率,提高了复合材料的热导率,这也可从图 1c 的 TEM 照片中得到印证。

2.3 复合材料的耐热性分析

图4示出添加不同体积分数导热填料的 EP/MWCNTs 和 EP/GNs 复合材料的 DSC 曲线(曲线中标出的数值即为复合材料的 T_g ,下同)。

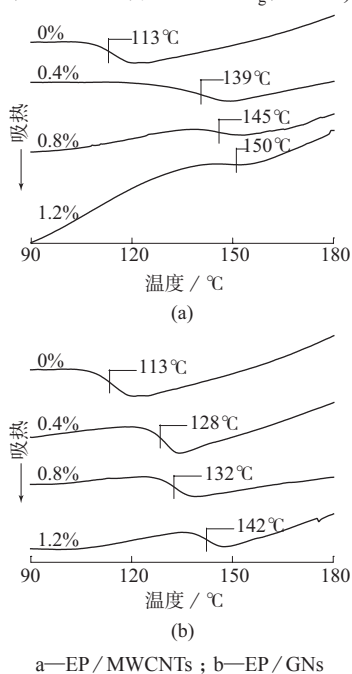


图4 不同导热填料含量的 EP/MWCNTs 和 EP/GNs 复合材料的 DSC 曲线

从图4可以看出,MWCNTs 和 GNs 均能提高复合材料的 T_g ,并且随着导热填料含量的增加, T_g 逐渐增大,当导热填料体积分数达到 1.2% 时,

EP/MWCNTs 和 EP/GNs 复合材料的 T_g 分别达到 150 °C 和 142 °C。相对于 GNs, MWCNTs 对 EP 的 T_g 改善效果更为显著。这是因为相比于片状的 GNs, 纳米尺度的 MWCNTs 具有更高的表面活性, 因此可以与 EP 间形成更好的界面结合, 其刚性结构能够限制 EP 基体的链段运动, 从而更高效地提高复合材料的 T_g 。

图 5 为纯 EP 及不同 GNs/MWCNTs 比例的 EP/GNs/MWCNTs 复合材料 DSC 曲线。从图 5 可以看出, 复合使用 GNs 和 MWCNTs 能明显地提高复合材料的 T_g , 当导热填料总量不变时, 随着复合填料中 MWCNTs 比例增加, EP/GNs/MWCNTs 复合材料的 T_g 也随之增加, 这是因为 MWCNTs 表面所带的羟基或者羧基等含氧基团参与到 EP 的交联固化反应中, 为两者之间提供了良好的界面作用, 因此刚性的 MWCNTs 提高了材料整体的刚性, 抑制了 EP 的链段运动, 从而使 T_g 提高, 所以 MWCNTs 能更好地改善复合材料的 T_g 。当填充体积分数分别为 0.6% 和 0.4% 的 GNs 和 MWCNTs 时, 复合材料的 T_g 为 152 °C, 比纯 EP 增加了 34.5%, 与 MWCNTs 体积分数为 1.2% 时的复合材料 T_g 基本相同。

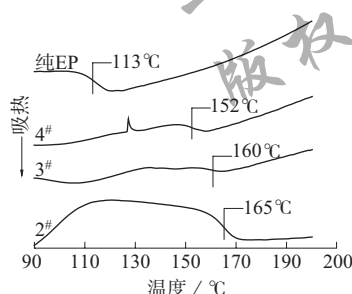


图 5 纯 EP 及 EP/GNs/MWCNTs 复合材料 DSC 曲线

2.4 复合材料的热稳定性分析

图 6 示出添加不同体积分数导热填料的 EP/MWCNTs 和 EP/GNs 复合材料的 TG 曲线。从图 6 可以看出, 不同导热填料含量下两种复合材料的热分解均是一段式, 说明复合材料的热失重机理相同。可以看出, EP/MWCNTs 复合材料和 EP/GNs 复合材料的起始分解温度 [失重 5% 时的温度 ($T_{5\%}$)] 均随着导热填料含量的增加而提高, 当导热填料体积分数为 1.2% 时, EP/MWCNTs 复合材料和 EP/GNs 复合材料的 $T_{5\%}$ 分别为 324, 329 °C, 比纯 EP 树脂分别提高了 11%, 13%。由此可见, MWCNTs 和 GNs 均能明显提高 EP 的热稳定性, 但

与 MWCNTs 相比, GNs 的效果更明显。

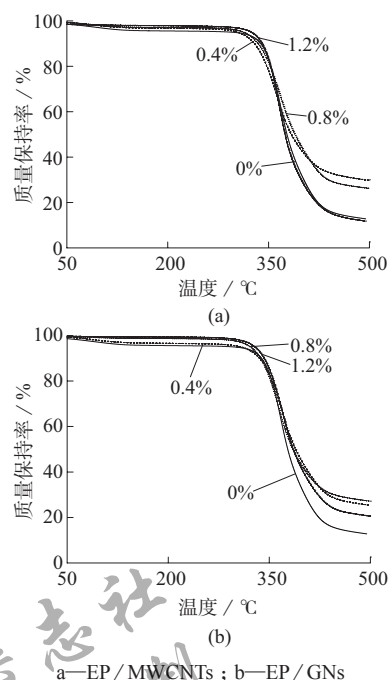


图 6 不同导热填料体积分数的 EP/MWCNTs 和 EP/GNs 复合材料的 TG 曲线

图 7 为不同 GNs/MWCNTs 比例的 EP/GNs/MWCNTs 复合材料 TG 曲线。

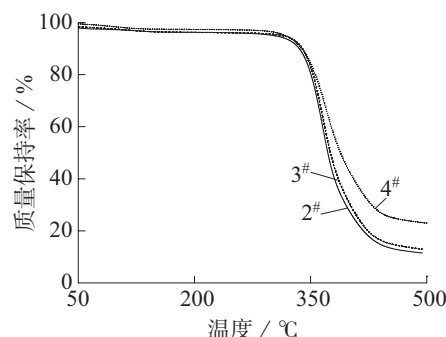


图 7 EP/GNs/MWCNTs 复合材料的 TG 曲线

由图 7 可以得出, 当 GNs 和 MWCNTs 的体积分数分别为 0.4% 和 0.6% 时, EP/GNs/MWCNTs 复合材料的 $T_{5\%}$ 、失重 10% 时的温度 ($T_{10\%}$) 和分解速率最大时的分解温度 (T_d) 分别为 298, 334, 364 °C, 较纯 EP 分别提高了 2%, 5.4% 和 9%。随着复合填料中 GNs 比例的增加, 复合材料的 $T_{5\%}$, $T_{10\%}$ 和 T_d 均随之增加, 当 GNs 和 MWCNTs 的体积分数分别为 0.6% 和 0.4% 时, 复合材料的 $T_{5\%}$, $T_{10\%}$ 和 T_d 分别为 316, 349, 378 °C, 比纯 EP 分别提高了 8.2%, 10% 和 13.2%。由此可见, 复合使用填料时, 相比于 MWCNTs, 添加更多的 GNs 更能改善复合材料的热稳定性。

3 结论

(1) 相对于单独采用 MWCNTs 和 GNs 作为 EP 的导热填料,将两者复合作用时更易在 EP 中形成良好的导热网络。

(2) EP 的热导率、 T_g 和热分解温度均随 GNs 或 MWCNTs 含量的增加而增大,其中,GNs 更有利于提高热导率和热分解温度,而 MWCNTs 更有利于提高 T_g 。

(3) 相比于单一导热填料,将 MWCNTs 和 GNs 复合更能进一步提高 EP 的热导率,且随着复合导热填料中 GNs 比例的增加,热导率逐渐增大。当 GNs 和 MWCNTs 的体积分数分别为 0.6% 和 0.4% 时,EP/GNs/MWCNTs 复合材料的热导率、 T_g 和 $T_{5\%}$ 分别为 $0.565 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 152°C 和 316°C , 分别比纯 EP 提高了 132.5%, 34.5% 和 8.2%。

参考文献

- [1] Balandin A A. Thermal properties of graphene and nanostructured carbon materials[J]. Nature Materials, 2011, 10(8):569–581.
- [2] Eom Y S. Characterization of a hybrid Cu paste as an isotropic conductive adhesive[J]. Etri Journal, 2011, 33(6):864–870.
- [3] Zhou Wenying. Effect of coupling agents on the thermal conductivity of aluminum particle / epoxy resin composites[J]. Journal of Materials Science, 2011, 46(11):3 883–3 889.
- [4] Zhang Yongxi, Hu Xiangyang, Zhao J H, et al. Rheology and thermal conductivity of diamond powder-filled liquid epoxy encapsulants for electronic packaging[J]. IEEE Transactions on Components & Packaging Technologies, 2009, 32(4):716–723.
- [5] Huang Xingyi, Iizuka T, Jiang Pingkai, et al. Role of interface on the thermal conductivity of highly filled dielectric epoxy / AlN composites[J]. J Phys Chem C, 2012, 116(25):13 629–13 639.
- [6] Biswal H. Thermal characteristics of boron nitride filled epoxy composites[J]. International Journal of Recent Research Aspects, 2013, 2(3):105–109.
- [7] Yu Hui, Li Liangliang, Kido T, et al. Thermal and insulating properties of epoxy / aluminum nitride composites used for thermal interface material[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2012, 124(1):669–677.
- [8] Choi S, Im H, Kim J. The thermal conductivity of embedded nano-aluminum nitride-doped multi-walled carbon nanotubes in epoxy composites containing micro-aluminum nitride particles[J]. Nanotechnology, 2012, 23(6):65 303–65 312.
- [9] Hsiao M C. Preparation and properties of a graphene reinforced nanocomposite conducting plate[J]. Journal of Materials Chemistry, 2010, 20(39):8 496–8 505.
- [10] Agarwal S, Khan M M K, Gupta R K. Thermal conductivity of polymer nanocomposites made with carbon nanofibers[J]. Polymer Engineering & Science, 2008, 48(12):2 474–2 481.
- [11] Pak S Y, Kim H M, Kim S Y, et al. Synergistic improvement of thermal conductivity of thermoplastic composites with mixed boron nitride and multi-walled carbon nanotube fillers[J]. Carbon, 2012, 50(13):4 830–4 838.
- [12] Teng C C, Ma C C M, Chiou K C, et al. Synergetic effect of thermal conductive properties of epoxy composites containing functionalized multi-walled carbon nanotubes and aluminum nitride[J]. Composites Part B:Engineering, 2012, 43(2):265–271.
- [13] Babaei H, Keblinski P, Khodadadi J M. Thermal conductivity enhancement of paraffins by increasing the alignment of molecules through adding CNT / graphene[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2013, 58(1–2):209–216.
- [14] Yu Aiping, Ramesh P, Sun Xiaobo, et al. Enhanced thermal conductivity in a hybrid graphite nanoplatelet – Carbon nanotube filler for epoxy composites[J]. Adv Mater, 2008, 20 (20):4 740–4 744.

Aimplas 研发新型净化技术用于塑料加工

Acteco 与西班牙塑料技术研究所 (Aimplas) 共同实现了一项新技术,将简化在挤出之前的洗涤和干燥过程。

在最初的测试中,这个过程是在一个被控制的环境下将污染的聚乙烯简便油桶用模拟装置进行优化处理。

该项目研发了一种在挤出过程中使用超临界二氧化碳的净化过程,将持续运营 30 个月。该项目获得了欧盟 Life 计划的资助。

西班牙塑料技术研究所位于西班牙的瓦伦西亚,在这个新的净化项目中起到了决定性的作用,并声称能够比常规流程多消除 70% 的污染物。

(中塑在线)

格雷斯成功收购巴斯夫全球聚烯烃催化剂业务

美国格雷斯已完成对德国巴斯夫聚烯烃催化剂业务的

收购事宜,但未披露具体收购金额。

根据收购协议,自此,LYNX 高活性聚乙烯催化剂技术将为格雷斯公司所独有,这项技术应用于生产高密度聚乙烯树脂(包括双峰薄膜和管道)的泥浆处理工艺中。协议还包括 LYNX 聚丙烯催化剂技术,用于聚丙烯加工工艺流程,包括泥浆、大循环和气体搅拌等。除了催化剂技术,格雷斯公司还将接手巴斯夫在德克萨斯帕萨迪纳市和西班牙塔拉戈纳工厂的全部专利、商标及工厂。

收购完成后,170 名左右的原巴斯夫员工将加入格雷斯公司。通过本次收购,格雷斯加强并强化了该企业的全球聚烯烃催化剂生产网络。

格雷斯公司专注于催化剂和材料工艺技术,此次收购与企业的发展核心相符。

(PUWORLD)