

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.03.001

多壁碳纳米管表面羧基化及其阻燃 ABS 的性能

丁永红,杨景红,郭亮

(常州大学材料科学与工程学院,江苏常州 213000)

摘要:采用硝酸氧化/低温等离子处理两步法,将多壁碳纳米管(MWCNTs)羧基化(MWCNTs-COOH),以改善其在 ABS 基体中的分散性。通过熔融共混的方法制备不同组分 ABS/MWCNTs-COOH 复合材料。利用红外、拉曼分析、扫描电镜对改性修饰后 MWCNTs 结构进行研究;利用扫描电镜、热重分析、极限氧指数、残炭分析、力学性能测试对 ABS/MWCNTs-COOH 复合材料分散性、热性能、阻燃性能、力学性能进行研究。实验结果表明, MWCNTs 羧基化改性后提高了在 ABS 基体材料中的分散性;当 MWCNTs-COOH 含量为 1% 时,复合材料初始分解温度和最大分解温度分别提高了 22.69℃ 和 27.90℃,热稳定性提高,同时复合材料力学性能也得到改善,拉伸强度提高了 18.3%;极限氧指数和残炭测试表明, MWCNTs-COOH 加入提高了复合材料的极限氧指数, MWCNTs-COOH 在复合材料燃烧过程中,会在材料表面形成网络状炭层,提高复合材料的阻燃性能。

关键词: 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物;多壁碳纳米管;羧基化;复合材料;阻燃性能

中图分类号: TQ325.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)03-0001-06

Surface Carboxylation of Multi-walled Carbon Nanotubes and Its Properties of Flame Retardant ABS

Ding Yonghong, Yang Jinghong, Guo Liang

(School of Material Science & Engineering, Changzhou University, Changzhou 213100, China)

Abstract : Multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) were carboxylated (MWCNTs-COOH) by a two-step method of nitric acid oxidation/low temperature plasma treatment to improve their dispersibility in acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer (ABS) matrix. ABS/MWCNTs-COOH composites with different compositions were prepared by melt blending. The structure of modified MWCNTs was studied by infrared, Raman analysis and scanning electron microscopy. The dispersibility, thermal properties, flame retardancy and mechanical properties of ABS/MWCNTs-COOH composites were investigated by scanning electron microscopy, thermogravimetric analysis, limiting oxygen index, carbon residue analysis and mechanical properties tests. The results show that the carboxylation of MWCNTs improves the dispersibility in the ABS matrix. When MWCNTs-COOH content is 1%, the initial decomposition temperature of the composite material and the maximum decomposition temperature are increased by 22.69℃ and 27.90℃, thermal stability is improved, while the mechanical properties are also improved, the tensile strength increased by 18.3%. According to the limit oxygen index and carbon residue test, the addition of MWCNTs-COOH increases the limiting oxygen index of the composite. MWCNTs-COOH forms a networked carbon layer on the surface of the composite during the combustion of the composite to improve the flame retardancy of the composite.

Keywords : acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer; multi-walled carbon nanotube; carboxylation; composite; flame retardant performance

丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)是一种典型的两相结构三组分热塑性树脂,具有优异的力学性能,高的热稳定性、耐化学性以及良好的加工性能而被广泛地应用于电子电器、汽车和建筑材料

等领域^[1]。但是 ABS 作为一种高分子材料,具有极强的可燃性,在空气中极易燃烧,且产生大量黑烟,其极限氧指数在 18%~19% 之间,存在很大安全隐患^[2-4],限制了 ABS 的应用。传统使用卤系阻燃剂

通讯作者: 丁永红,副教授,主要从事高分子材料改性成型加工 E-mail: dyh@cczu.edu.cn

收稿日期: 2018-12-25

引用格式: 丁永红,杨景红,郭亮. 多壁碳纳米管表面羧基化及其阻燃 ABS 的性能[J]. 工程塑料应用,2019,47(3):1-6.

Ding Yonghong, Yang Jinghong, Guo Liang. Surface carboxylation of multi-walled carbon nanotubes and its properties of flame retardant ABS[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(3):1-6.

阻燃 ABS,虽然阻燃性能优异,但其燃烧产物会对生态环境造成严重的破坏^[5]。因此开展无卤环保阻燃 ABS 的研究具有重要的社会价值。

多壁碳纳米管(MWCNTs)是一种具有特殊结构的准一维纳米结构,具有优异的力学、热学和电学性能^[6-7]。现如今,人们更多的关注 MWCNTs 在聚合物阻燃方面的应用^[8]。MWCNTs 具有耐热、传热和高温环境下高强度等特性,可以提高聚合物的阻燃性能^[9]。但 MWCNTs 具有较强的范德华力,导致 MWCNTs 在聚合物基体材料中分散不均匀,限制了 MWCNTs 在阻燃方面的应用。研究表明 MWCNTs 在聚合物基体中分散均匀是提高聚合物基体材料阻燃性的关键^[10-11]。

笔者利用化学与物理相结合的方法表面修饰改性 MWCNTs,使 MWCNTs 羧基化,提高 MWCNTs 在 ABS 中的分散性。通过熔融共混制备 ABS/MWCNTs 复合材料,研究 MWCNTs-COOH 的加入对 ABS/MWCNTs 复合材料力学、热学和阻燃性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原材料

硝酸、无水乙醇:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

多壁碳纳米管:管径:10~20 nm,长度:10~30 μm ,纯度>98%,北京德科岛金科技有限公司;

ABS:DG-417,天津大沽化工股份有限公司。

1.2 主要设备及仪器

低温等离子处理仪:SY-DT02S 型,苏州市奥普斯等离子科技有限公司;

傅立叶变换红外光谱(FTIR)仪:Nicolet iS 10 型,美国赛默飞世尔科技有限公司;

场发射扫描电子显微镜(FESEM):SUPRA55 型,德国-蔡司公司;

拉曼光谱仪:Thermo Fisher 型,美国赛默飞世尔科技有限公司;

电子万能试验机:WDT-10 型,深证市凯强利实验仪器有限公司;

热重分析(TG)仪:TGA4000 型,Perkin Elmer 公司;

转矩流变仪:PPT-3/ZZL-40 型,广州市普同实验分析仪器有限公司;

极限氧指数仪:HC-2 型,南京市江宁区分析仪器厂;

1.3 样品制备

将 0.1 g MWCNTs 置于 100 mL 的圆底烧瓶中,加入 50 mL 10 mol/L 硝酸溶液,室温超声 5 min 分散均匀后,置于油浴锅中 50℃下搅拌反应 1.5 h。反应结束后用无水乙醇离心洗涤至中性,60℃下真空干燥 24 h。将氧化干燥后的 MWCNTs 均匀铺在表面皿中,放入低温等离子体中,通入空气,在 200 W 功率下处理 6 min,即得 MWCNTs-COOH。

采用熔融共混的方法,以 ABS 和 MWCNTs-COOH(质量分数为 0%,0.5%,1%,1.5%,2% 时样品编号分别为 1#,2#,3#,4#,5#)为原料,通过转矩流变仪,在 175℃的条件熔融共混 8 min,得到分散均匀的 ABS/MWCNTs 复合材料。利用微型注塑机,在料筒温度为 175℃、模具温度为 30℃、保压时间为 10 s 的条件下,将熔融共混制备好的复合材料在 175℃下制成拉伸、冲击、阻燃试样。

1.4 性能测试

FTIR 分析:扫描范围 400 cm^{-1} ~4000 cm^{-1} ,扫描次数 16 次,样品采用 KBr 压片法压片。

拉曼分析:激光光源 780 nm,扫描范围 50 cm^{-1} ~3500 cm^{-1} ,扫描次数 16 次。

SEM 分析:试样淬断后喷金处理,观察其微观形貌。

TG 分析:样品在氮气气氛下,以 10℃/min 的速率从室温升到 800℃,考察热失重情况。

拉伸性能测试:按照 GB/T 1040-2006,拉伸速率为 20 mm/min。

冲击性能测试:按照 GB/T 1843-2008,缺口为 45°角 V 型缺口。

LOI 测试:样条尺寸为 100 mm×6 mm×3 mm;将样条夹在夹具上通入氮气和氧气的混合气体,装好氧指数保护套,点燃样条并记录 3 min 烧到样条 50 mm 处的氧气含量,将该氧气的含量记作该样品的 LOI。

残炭分析:样品放入马弗炉中在 500℃下燃烧 20 min 后取出,拍照并用 SEM 观察样品宏观与微观的残炭形貌。

2 结果与讨论

2.1 MWCNTs 红外分析

图 1 为改性前后 MWCNTs 的 FTIR 谱图。由图 1 可看出,原始 MWCNTs 的红外光谱图中,3435 cm^{-1} ,1076 cm^{-1} 处出现微弱的—OH 伸缩振

动吸收峰与羟基碳氧 C—O 伸缩振动吸收峰,这是纯 MWCNTs 表面吸收少量水造成的。2925 cm^{-1} 和 2853 cm^{-1} 处吸收峰为制备 MWCNTs 时表面残留的 $-\text{CH}_2$ 非对称与对称伸缩振动峰。然而,经硝酸氧化/低温等离子体处理后 MWCNTs-COOH 红外光谱中,在 1635 cm^{-1} 处出现新的吸收峰,此峰为修饰改性后 MWCNTs 表面生成羧基的 C=O 的伸缩振动峰。2925 cm^{-1} 和 2853 cm^{-1} 处吸收峰峰强减弱, MWCNTs-COOH 表面杂质减少。

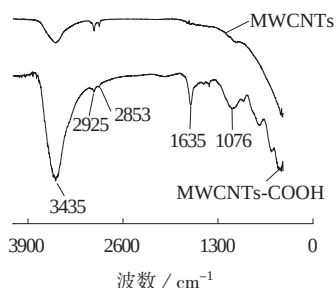


图1 改性前后 MWCNTs 的 FTIR 谱图

2.2 MWCNTs 拉曼光谱分析

图2为改性前后 MWCNTs 拉曼光谱。由图2可以看出, MWCNTs 的拉曼光谱图中出现了 1353 cm^{-1} 和 1581 cm^{-1} 2 个特征吸收峰。其中 1353 cm^{-1} 处为 D 峰代表 MWCNTs 表面缺陷无定型碳的 sp^3 杂化, 1581 cm^{-1} 处为 G 峰代表 MWCNTs 表面规整石墨结构的 sp^2 杂化^[12]。

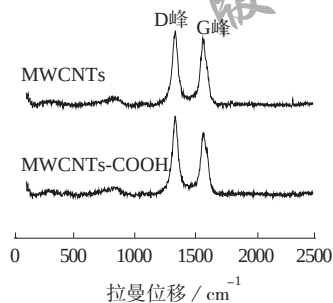


图2 改性前后 MWCNTs 拉曼光谱

图2中改性前原始 MWCNTs 的 D 峰和 G 峰的积分强度比 $R=1.10$, 改性后 MWCNTs-COOH D 峰和 G 峰的积分强度比 $R=1.26$ 。R 值代表的是 MWCNTs 的石墨化程度, R 值越高则 MWCNTs 的表面缺陷越多, 石墨化程度低^[13]。改性后 MWCNTs-COOH 的 R 值略大于改性前纯 MWCNTs, 说明在硝酸/低温等离子体修饰改性过程中 MWCNTs 表面小部分石墨结构被破坏形成缺陷, 但没有对 MWCNTs 整体的结构造成破坏。结合红外光谱说明在其缺陷处形成了一COOH 等基

团, 达到了对 MWCNTs 修饰改性的目的。

2.3 MWCNTs 的 SEM 分析

图3为改性前后 MWCNTs 的 SEM 图。由图3a 可以看出, 原始 MWCNTs 的管口闭合, MWCNTs 团聚在一起, 形成球形或者块状形式的聚集体, 这是由于 MWCNTs 之间存在较强的范德华力造成的。由图3b 可以看出, 硝酸氧化/低温等离子体处理改性后, MWCNTs 分散得更均匀、分散性提高, 且能明显看到一根根丝状的 MWCNTs, 其结构没有被破坏。硝酸氧化/低温等离子体处理会在 MWCNTs 表面刻蚀活化引入含氧基团, 降低 MWCNTs 之间存在较强的范德华力, 提高其分散能力。有部分 MWCNTs 被切断, MWCNTs 的长度减小。因为表面修饰改性的过程中, 部分 MWCNTs 表面 sp^3 杂化碳缺陷处被氧化切断, 同时低温等离子体进一步处理, 持续轰击 sp^3 杂化碳缺陷处, 也会造成部分 MWCNTs 被切断。

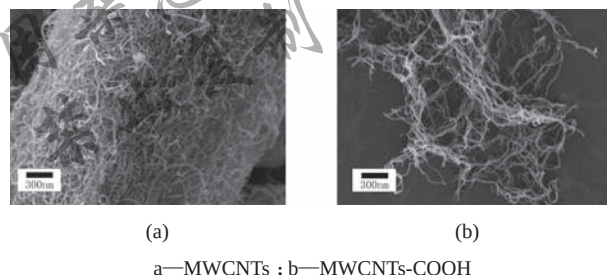
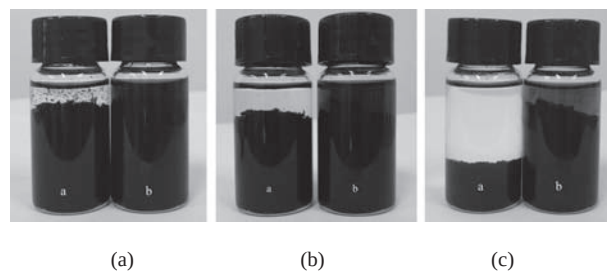


图3 改性前后 MWCNTs 的 SEM 图 ($\times 20\,000$)

2.4 MWCNTs 改性前后分散性分析

图4是 20 mg 改性前后 MWCNTs 分散在 10 mL 乙醇中的悬浮溶液, 超声 30 min 后, 静置 2, 6, 24 h 后分散体系的沉降状态及分散稳定性的表征图。



静置时间: a—2 h; b—6 h; c—24 h

图4 改性前后 MWCNT-乙醇悬浮溶液沉降状态及分散稳定性

由图4可以看出, 静置 2 h 后, 原始 MWCNTs 大部分均匀分散在乙醇中, 只有上层少量 MWCNTs 团聚。硝酸氧化/低温等离子体处理后的 MWCNTs-COOH 均匀分散在乙醇中。静置 6 h 后, 原始 MWCNTs 在乙醇悬浮溶液上层出现大

量的团聚沉淀,硝酸氧化/低温等离子体处理后的 MWCNTs-COOH 均匀分散在乙醇中,基本没有变化。静置 24 h 后,原始 MWCNTs 全部沉淀团聚在一起,而硝酸氧化/低温等离子体处理后的 MWCNTs-COOH 均匀分散在乙醇中,并形成长期稳定的分散相。这是因为 MWCNTs-COOH 表面引入大量的 -COOH 极性基团,能有效地抑制 MWCNTs 自身的团聚,提高其在极性溶剂的分散能力。

图 5 是改性前后、不同浓度的 MWCNTs-乙醇悬浮溶液在 203 nm 处的紫外吸光度拟合的标准曲线。Jiang Linqin 等^[14]研究发现,碳纳米管在 200 ~ 300 nm 的紫外可见吸收光谱中会出现最大的吸收峰。根据 Lambert-Beer 定律可知,悬浮液的浓度相同时,紫外吸光度越大, MWCNTs 在无水乙醇中分散性就越好。由图 5 可以看出,原始 MWCNTs 的吸光度最小。MWCNTs-COOH 大于原始 MWCNTs,说明硝酸氧化/低温等离子体处理这种化学与物理相结合改性方法能有效改善 MWCNTs 在无水乙醇中的分散能力。

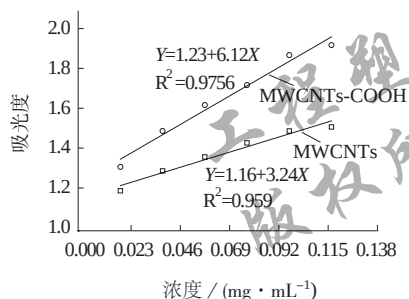


图 5 改性前后 MWCNTs 在乙醇中分散度的标准曲线

2.5 ABS/MWCNTs-COOH 复合材料力学性能分析

表 1 为 ABS/MWCNTs-COOH 复合材料的力学性能。

表 1 ABS/MWCNTs-COOH 复合材料的力学性能

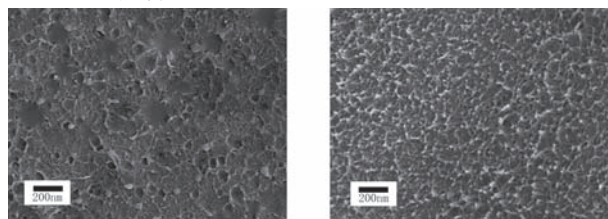
样品编号	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%	缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)
1 [#]	38.2	22.5	16
2 [#]	43.1	25.6	16.5
3 [#]	45.2	22.3	12
4 [#]	36.3	14.8	8.7
5 [#]	34.7	7.5	6.8

由表 1 可以看出,少量的 MWCNTs-COOH 加入后,ABS/MWCNTs-COOH 复合材料的拉伸强度、缺口冲击强度、断裂伸长率均有提高。当 MWCNTs-COOH 含量为 1% 时,复合材料拉伸强度提高了 18.3%;当 MWCNTs-COOH 含量为 0.5% 时,复合材料冲击强度和断裂伸长率分别提高了 3% 和 13.7%。因为 MWCNTs 具有高弹性模量、高

强度和良好的力学性能, MWCNTs 在基体材料中分散均匀,可以提高复合材料的力学性能^[15]。然而,随着 MWCNTs-COOH 含量的增加,复合材料的力学性能大幅度下降。MWCNTs-COOH 含量增加, MWCNTs-COOH 在 ABS 中团聚、分散不均匀,破坏了 ABS 内部均一的结构,形成应力集中区,受到外力时容易断裂,导致力学性能大幅度下降。MWCNTs-COOH 在 ABS 中分散均匀是提高复合材料力学性能的关键。

2.6 ABS/MWCNTs-COOH 复合材料 SEM 分析

图 6 为 ABS/MWCNTs 复合材料 SEM 图。由图 6a 可以看出,原始 MWCNTs 制备的 ABS/MWCNTs 复合材料断面,网状结构不规整且表面存在着大量紧密团聚的 MWCNTs,并没有均匀分散到 ABS 中。由图 6b 可以看出, ABS/MWCNTs-COOH 复合材料断面大量的 MWCNTs-COOH 呈丝状在 ABS 中均匀分散,与 ABS 分子链相互纠缠在一起,形成一种网状结构。这是因为改性后 MWCNTs 表面引入了一 -COOH 极性基团,与 ABS 中的丙烯酸极性基团相互作用,提高了相容性,改善了界面的粘合性能。



(a) (b)

a—ABS/MWCNTs 复合材料;b—3[#] 样品

图 6 ABS/MWCNTs 复合材料 SEM 图 (× 20 000)

2.7 ABS/MWCNTs-COOH 复合材料 TG 分析

如图 7 所示,在氮气氛围下 ABS 和 ABS/MWCNTs-COOH 复合材料的热降解是一步完成的。具体的 TG 数据列于表 2 中。由表 2 可知,纯 ABS 起始失重温度 T_0 (T_0 为失重 5% 时温度)、 T_{50} 、 T_{max} 分别为 406.89, 451.14, 457.77, 600 °C 时质量保持率为 0.98%。与纯 ABS 相比,随着 MWCNTs-COOH 含量的增加,ABS/MWCNTs-COOH 复合材料的热稳定性提高。当 MWCNTs-COOH 含量为 1% 时,复合材料 T_0 、 T_{50} 、 T_{max} 分别提高了 22.69, 22.14, 27.9 °C,说明 MWCNTs-COOH 的加入抑制了 ABS 的热降解,提高了复合材料的热稳定性。然而当 MWCNTs-COOH 含量继续增加,导致 MWCNTs-

COOH 在 ABS 基体中分散不均匀,复合材料的热稳定性有所降低。此外 ABS/MWCNTs-COOH 复合材料在 600℃ 的残炭率都大于纯 ABS,说明 MWCNTs-COOH 的加入有催化成炭的作用。

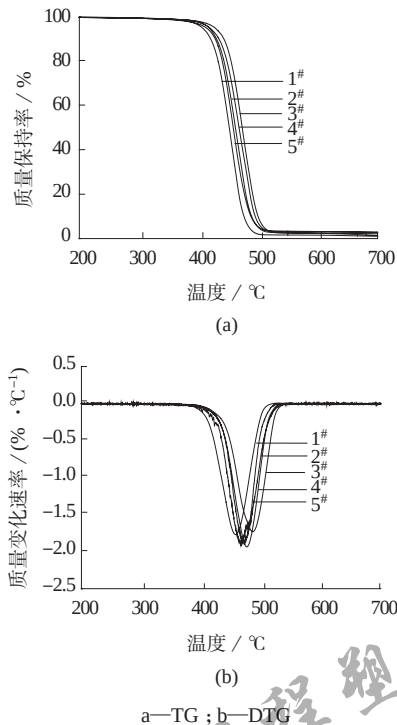


图 7 ABS/MWCNTs 复合材料 TG 和 DTG 曲线

表 2 ABS/MWCNTs-COOH 复合材料 TG 数据

样品编号	$T_0 / ^\circ\text{C}$	$T_{50} / ^\circ\text{C}$	$T_{\max} / ^\circ\text{C}$	600℃时残炭率/%
1 [#]	406.89	451.14	457.77	0.98
2 [#]	416.31	461.49	471.30	1.59
3 [#]	429.58	473.28	485.67	2.44
4 [#]	423.27	467.63	476.16	3.10
5 [#]	408.03	456.89	466.06	3.33

2.8 ABS/MWCNTs-COOH 复合材料 LOI 分析

表 3 为 ABS/MWCNTs-COOH 复合材料的 LOI。由表 3 可看出,纯 ABS 的 LOI 值为 18%,随着 MWCNTs-COOH 增加,ABS/MWCNTs-COOH 复合材料的 LOI 值逐渐增加,当 MWCNTs-COOH 含量为 2% 时复合材料 LOI 值达到 23%,提高了 27.8%。MWCNTs-COOH 与 ABS 形成的网络结构在 ABS 燃烧过程中形成致密网络状炭层,能起到阻隔热质传递、减少融滴产生,从而发挥阻燃作用^[16]。

表 3 ABS/MWCNTs-COOH 复合材料极限氧指数

项目	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
LOI/%	18	21	22	22.5	23

2.9 ABS/MWCNTs-COOH 复合材料残炭分析

图 8 是 ABS 与 ABS/MWCNTs-COOH 复合材料残炭宏观形貌。由图 8 可以看出,纯 ABS 的炭

层较薄,且表面有很多气孔与裂痕。而 MWCNTs-COOH 含量为 1% 时复合材料的炭层明显变厚,且表面致密无气孔与裂痕。

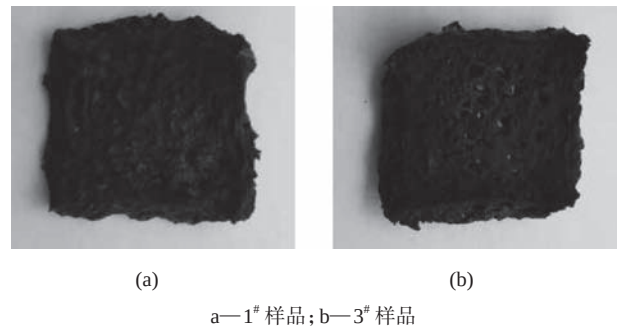


图 8 ABS/MWCNTs-COOH 复合材料残炭宏观形貌

图 9 为 ABS 与 ABS/MWCNTs 复合材料残炭 SEM 微观形貌。由图 9 可以看出,纯 ABS 的炭层蓬松,有大量的裂痕,燃烧过程中将基体材料暴露在空气中,加剧了燃烧的进行。而复合材料表面形成了致密的网络状结构炭层,正是这种网络结构能在燃烧过程中抑制 ABS 分子链的热运动,减少融滴;同时网络状结构炭层具有阻隔效应,将外界热量和空气与复合材料隔离,起到了阻燃作用。

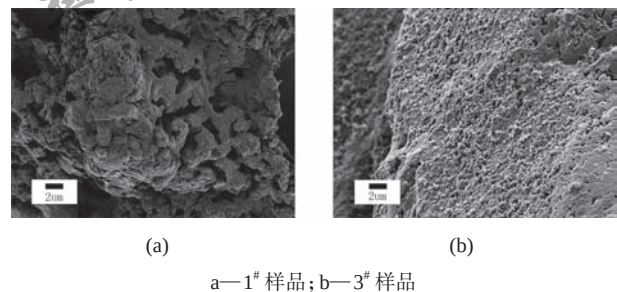


图 9 ABS/MWCNTs 复合材料残炭 SEM 微观形貌 (×2000)

3 结论

MWCNTs 表面修饰后,在其表面引入了大量—COOH 极性基团,分散性提高,且 MWCNTs-COOH 代表石墨化程度的 $R=1.26$,略大于原始 MWCNTs,说明改性后 MWCNTs 表面石墨结构没受到破坏。当 MWCNTs-COOH 含量为 1% 时,与纯 ABS 相比,复合材料拉伸强度提高了 18.3%,冲击强度与断裂伸长率变化不大, T_0 , T_{50} , $T_{\max}$ 分别提高了 22.69, 22.14, 27.9℃。MWCNTs-COOH 明显改善了 ABS/MWCNTs-COOH 复合材料力学性能与热稳定性。随 MWCNTs-COOH 含量增加,ABS/MWCNTs-COOH 复合材料 LOI 逐渐上升;复合材料燃烧过程中, MWCNTs-COOH 在基体材料表面形成网络状炭层,抑制 ABS 分子链热运动,减少融滴,将外界热量和空气与复合材料隔离,起到阻燃作用。

参考文献

- [1] 周亮,李冬梅,杨迎. ABS/碳纳米管复合材料的研究进展[J]. 中国塑料,2010,24(3):1-10.
Zhou Liang, Li Dongmei, Yang Ying. Research progress of ABS/carbon nanotube composites[J]. Chinese Plastics, 2010, 24(3):1-10.
- [2] Cen Xingyou, Sun Tong, Cai Xufu. The investigation of intumescent flame-retarded ABS using zinc borate as synergist[J]. Journal of Thermal Analysis & Calorimetry, 2014, 115(1):185-191.
- [3] Hoan Dongquy, Kim Woojung, An Haiyan, et al. Flame retardancies of novel organo-phosphorus flame retardants based on DOPO derivatives when applied to ABS[J]. Macromolecular Research, 2015, 23(5):442-448.
- [4] 王彦辉,韩元培,李武斌,等. 环保型溴系阻燃剂在ABS复合材料中的应用[J]. 工程塑料应用,2016,44(3):105-108.
Wang Yanhui, Han Yuanpei, Li Wubin, et al. Application of environment friendly bromine flame retardant in ABS composites[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(3):105-108.
- [5] 李晓丽,李斌. 阻燃ABS树脂及其合金的研究进展[J]. 高分子材料科学与工程,2005,21(1):48-51.
Li Xiaoli, Li Bin. Development of flame-retarded acrylonitrile-butadiene-styrene(ABS)and its alloys[J]. Polymeric Materials Science and Engineering, 2005, 21(1):48-51.
- [6] De Volder M F, Tawfick S H, Baughman R H, et al. Carbon nanotubes: Present and future commercial applications[J]. Science, 2013, 339(6 119):535-539.
- [7] Sharma P, Mehra N K, Jain K, et al. Biomedical applications of carbon nanotubes:a critical review[J]. Curr Drug Deliv, 2016, 13(6):796-817.
- [8] Ma Haiyun. Synergistic effect of carbon nanotube and clay for improving the flame retardancy of ABS resin[J]. Nanotechnology, 2007, 18(37):375-602.
- [9] Pack S, Kashiwagi T, Stemp D, et al. Segregation of carbon nanotubes / organoclays rendering polymer blends self-extinguishing[J]. Macromolecules, 2009, 42(17):6 698-6 709.
- [10] Wu Zhaofeng, Wang Hua, Tian Xingyou, et al. Mechanical and flameretardant properties of styrene-ethylene-butylene-styrene / carbon nanotube composites containing bisphenol A bis(diphenyl phosphate)[J]. Composite Science Technology, 2013, 82(15):8-14.
- [11] He Qingliang, Yuan Tingting, Yan Xingru, et al. Flame-retardant polypropylene / multiwall carbon nanotube nanocomposites:effects of surface functionalization and surfactant molecular weight[J]. Macromolecular Chemistry and Physics, 2014, 215(4):327-340.
- [12] Xu Guoyong, Cheng Jinyang, Wu Huiyan, et al. Functionalized carbon nanotubes with oligomeric intumescent flame retardant for reducing the agglomeration and flammability of poly(ethylene vinyl acetate)nanocomposites[J]. Polymer Composite, 2013, 34(1):109-121.
- [13] Yu Tao, Jiang Ning, Li Yan. Functionalized multi-walled carbon nanotube for improving the flame retardancy of ramie / poly(lactic acid)composite[J]. Composites Science and Technology, 2014, 10(4):26-33.
- [14] Jiang Linqin, Gao Lian, Sun Jing. Production of aqueous colloidal dispersions of carbon nanotubes[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2003, 260(1):89-94.
- [15] 沈曾民,杨子芹,赵东林,等. 碳纳米管 / ABS树脂基复合材料的力学性能和雷达波吸收性能的研究[J]. 复合材料学报,2003, 20(2):25-29.
Shen Zengmin, Yang Ziqin, Zhao Donglin, et al. Mechanical properties and the radar absorbing property of carbon nanotubes reinforced ABS composite[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2003, 20(2):25-29.
- [16] Morgan A B, Wilkie C A. (欧育湘,李建军,叶南飙,译.) 阻燃聚合物纳米复合材料[M]. 北京:国防工业出版社,2011.
Morgan A B, Wilkie C A. (Ou Yuxiang, Li Jianjun, Ye Nanbiao, translated.) Flame retardant polymer nanocomposites [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2011.

优惠销售中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》及论文集光盘

中国合成树脂供销协会加工与应用分会为了配合2000~2018年先后召开的中国工程塑料复合材料技术研讨会,共编辑、出版了19本《论文集》。其内容涉及工程塑料及通用塑料的合成与改性、加工、应用、测试、模具、设备新技术,以及文献综述、评论等,突出了我国工程塑料行业发展规划、热点分析。现尚有部分《论文集》,以及应广大读者要求加工制作的论文集光盘,现以优惠价格(含邮费)销售,欢迎订阅。

1. 2004~2018年中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》,优惠价400元/套。

2. 2000~2018年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集光盘,优惠价300元/盘。本光盘除收录2000~2018年19本《论文集》的全部内容外,还包括约3700人次的会议代表通讯录。

邮局汇款

收款地址:山东济南市天桥区田庄东路3号

收款单位:《工程塑料应用》杂志社

邮编:250031

电话:(0531)85878223 85878057 85878278

传真:(0531)85947355

银行汇款

户名:山东非金属材料研究所

开户银行:济南市工商银行经十一路支行

帐号:1602001229014425546

网上订购: <http://www.epa1973.com>