

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.10.005

ABS/废弃PCB环氧树脂复合材料的制备及性能

徐豪, 胡棚, 彭湘红, 蔡少君
(江汉大学光电材料与技术学院, 武汉 430056)

摘要: 将废弃印刷电路板中的环氧树脂(EP)非金属粉末(废弃EP)添加到丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)中, 通过熔融共混法制得ABS/废弃EP复合材料。通过反应挤出法制得马来酸酐接枝ABS (ABS-g-MAH), 利用傅里叶变换红外光谱仪证明了ABS-g-MAH成功制备。将ABS-g-MAH作为增容剂添加到ABS/废弃EP复合材料中, 分别对所得复合材料的拉伸性能、弯曲性能、冲击性能、硬度、热稳定性和微观形貌进行了测试和表征。结果表明, 未加增容剂时, ABS/废弃EP复合材料的拉伸强度随EP用量的增加先升高后降低, 弯曲强度随EP用量的增加而提高, 但断裂伸长率、缺口冲击强度和硬度与纯ABS相比均有明显下降; 在EP的改性和增容剂的作用下, 复合材料的综合力学性能明显提高, 其中, 添加10份ABS-g-MAH和30份EP的ABS/废弃EP复合材料的拉伸强度比纯ABS提高19.1%, 弯曲强度提高21.6%, 硬度提高12.2%; EP的加入使ABS/废弃EP复合材料的初始分解温度总体上有所降低, 但仍大于350℃, ABS-g-MAH对复合材料热稳定性影响较小; 通过扫描电子显微镜观测发现, 增容剂的加入可以改善ABS基体与EP粉末中玻璃纤维的相容性, 使玻璃纤维在ABS中的分布更加均匀。

关键词: 废弃印刷电路板; 废弃环氧树脂; 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料; 增容剂; 共混改性

中图分类号: TQ327.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)10-0031-06

Preparation and Properties of ABS/Waste PCB Epoxy Resin Composites

Xu Hao, Hu Peng, Peng Xianghong, Cai Shaojun

(School of Optoelectronic Materials & Technology, Jiangnan University, Wuhan 430056, China)

Abstract : Epoxy resin (EP) nonmetal powders from waste printed circuit boards (abbreviation waste EP) were added into acrylonitrile-butadiene-styrene plastic (ABS), the ABS/waste EP composites were prepared by melt blending. Maleic anhydride grafted ABS (ABS-g-MAH) was prepared by reactive extrusion. Fourier transform infrared spectroscopy was used to prove the successful preparation of ABS-g-MAH. Then, ABS-g-MAH as a compatibilizer was added into ABS/waste EP composites, and the tensile properties, bending properties, impact properties, hardness, thermal stability and microstructure of the composites were tested and characterized respectively. The results show that when no compatibilizer is added, with the increase of EP content, the tensile strength of ABS/waste EP composite first increases and then decreases and the bending strength increases, but the elongation at break, notched impact strength and hardness of ABS/waste EP composite decrease significantly compared with pure ABS. The comprehensive mechanical properties of the composites are obviously improved with the modification of EP and the effect of compatibilizer. Compared with pure ABS, the tensile strength, bending strength and hardness of ABS/waste EP composite with 10 phr ABS-g-MAH and 30 phr EP are increased by 19.1%, 21.6% and 12.2%, respectively. The addition of EP generally reduces the initial decomposition temperature of ABS/waste EP composite, but the temperature is still higher than 350℃. The influence of ABS-g-MAH on the thermal stability of the composite is relatively small. It is found by scanning electron microscopy that the compatibilizer can improve the compatibility between ABS and the glass fiber in EP powders, and made the glass fiber distribute in ABS more evenly.

Keywords : waste printed circuit boards ; waste epoxy resin ; acrylonitrile-butadiene-styrene plastic ; compatibilizer ; blending modification

基金项目: 湖北省大学生创新创业训练计划项目(S202211072038)

通信作者: 蔡少君, 副教授/博士, 主要从事高分子材料改性 with 加工成型研究

收稿日期: 2023-07-31

引用格式: 徐豪, 胡棚, 彭湘红, 等. ABS/废弃PCB环氧树脂复合材料的制备及性能[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(10):31-36.

Xu Hao, Hu Peng, Peng Xianghong, et al. Preparation and properties of ABS/waste PCB epoxy resin composites[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(10):31-36.

印刷电路板(PCB)是电子电器产品中的重要部件。随着电子设备的迅速发展,各种废弃PCB的数量也在急速增加。废弃PCB中含有大量的环氧树脂(EP)非金属复合材料和金属元素,其中金属元素可被回收再利用,但EP复合材料的处理非常困难^[1-3]。EP是热固性材料,具有三维网状的结构,不溶于有机溶剂,也难熔融,无法用普通塑料回收的方法进行回收和再利用。废弃PCB中EP的再利用已成为电子废弃物正规化和资源化的难点。传统处理废弃的PCB方法一般为焚烧和填埋,但会带来新的环境和生态污染问题^[4-6]。因此,急需寻找更为合理的方法对废弃EP进行资源化再利用。

另一方面,丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)是一种具有3种单体组成的工程塑料,它同时具备丙烯腈的耐热性和耐化学药品性、丁二烯的抗冲击性,以及苯乙烯的光泽、刚性和加工性能,具有良好的综合性能。ABS在家电、汽车、纺织、建筑等领域广泛应用,并且在3D打印技术中也成为重要的原料。但是,ABS的力学性能如弯曲强度等相对较低,需要通过改性以满足不同领域的应用需求^[7-8]。有研究将EP与ABS复合得到综合性能较好的复合材料,但往往需要使用丙酮作为溶剂、经过较长时间的恒温固化后再通过真空干燥将溶剂去除^[9-10],制备过程较长。

因此,为促进废弃PCB中的非金属粉末资源化再利用,并进一步改善ABS的综合性能,笔者利用废弃PCB中的EP非金属粉末(以下简称废弃EP)作为填料增强ABS制备复合材料。通过反应挤出法制备马来酸酐接枝ABS(ABS-g-MAH)作为增容剂^[11-13],改善废弃EP与ABS的界面性能。在此基础上,进一步探究废弃EP和ABS-g-MAH含量对ABS/废弃EP(以下简称ABS/EP)复合材料各方面性能的影响,以期得到综合性能最佳的复合材料,为废弃EP的绿色回收和再利用提供新的思路。

1 实验部分

1.1 主要原料

ABS:挤出级,湖北合聚新材料有限公司;

过氧化苯甲酰(BPO)、马来酸酐(MAH):99%,阿拉丁生化科技股份有限公司;

废弃EP粉末:平均粒径约24 μm ,自制。

1.2 主要设备和仪器

双螺杆挤出机:SHJ-20型,南京杰亚挤出装备

有限公司;

注塑机:WZS10D型,上海新硕精密器械有限公司;

电子万能试验机:UTM4204X型,深圳三思纵横科技有限公司;

塑料摆锤冲击试验机:PTM1000型,深圳三思纵横科技有限公司;

邵氏硬度计:TH220型,北京时代元峰科技有限公司;

傅里叶变换红外光谱(FTIR)仪:TENSOR 27型,德国布鲁克公司;

热重(TG)分析仪:SDT Q600型,美国TA公司;

偏光显微镜:CX40P型,舜宇光学科技(集团)有限公司;

扫描电子显微镜(SEM):SU 8010型,日本日立公司。

1.3 试样制备

(1) ABS-g-MAH的制备。

将ABS于80 $^{\circ}\text{C}$ 干燥2 h后,将其与MAH和BPO按照质量比100:3:0.4进行混合^[10],设置双螺杆挤出机的主机频率为3.5 Hz,各区温度分别为190, 200, 200, 210, 210, 210, 200, 220 $^{\circ}\text{C}$ (机头),将混合后的原料加入到双螺杆挤出机中进行熔融挤出,经冷却、牵引、切粒机切粒、干燥后得到增容剂ABS-g-MAH粒料。

(2) ABS/EP复合材料粒料的制备。

按照表1的配方,将干燥后的ABS与一定用量的EP粉末和增容剂ABS-g-MAH均匀混合后加入到挤出机中,经挤出、牵引、冷却、造粒、干燥,留样密封待用。挤出工艺参数与ABS-g-MAH的制备工艺参数相同。

表1 ABS/EP复合材料各组分量 份

编号	ABS	EP	ABS-g-MAH
1	100	0	0
2	90	10	0
3	80	20	0
4	70	30	0
5	90	10	3
6	80	20	3
7	70	30	3
8	90	10	6
9	80	20	6
10	70	30	6
11	90	10	10
12	80	20	10
13	70	30	10

(3) EP/ABS复合材料样条的制备。

设置注塑机温度为210℃,模具温度为50℃,分别依据相应标准ISO527-2 5 A,GB/T 9341和GB/T 1843/1-A制备拉伸样条、弯曲样条和冲击样条。

1.4 测试与表征

(1) ABS-g-MAH的结构表征。

采用FTIR仪对ABS,MAH及ABS-g-MAH进行结构表征,分析的波数范围为400~4 000 cm^{-1} 。

(2) ABS/EP复合材料的力学性能测试。

按照GB/T 1843-2008,使用塑料摆锤冲击试验机测定复合材料冲击性能,用游标卡尺测量样条的厚度和宽度,测试完成后记录能量损耗百分比,计算缺口冲击强度。

按照ISO 527-2-2012和GB/T 9341-2008,使用电子万能试验机测量复合材料拉伸性能和弯曲性能,输入试样的尺寸等参数,分别设置拉伸速率为10 mm/min,弯曲速率为5 mm/min,得到拉伸和弯曲性能数据。

(3) ABS/EP复合材料的硬度测定。

使用邵氏硬度计测定复合材料的硬度,于长方形样条上取不同位点测5次硬度值,取平均值。

(4) ABS/EP复合材料的热稳定性测试。

使用TG分析仪对复合材料进行分析,称取5~10 mg样品,氮气气氛,升温区间为室温至650℃,升温速率20℃/min。

(5) EP粉末及ABS/EP复合材料的形貌观测。

采用偏光显微镜对EP粉末形貌进行观测。

将缺口冲击试验后所得样条断面进行干燥、喷金处理,再通过SEM观测样条断面的微观形貌。

2 结果与讨论

2.1 ABS-g-MAH的结构表征

通过FTIR仪对ABS,MAH及增容剂ABS-g-MAH的结构进行了测定,如图1所示。由图1可见,ABS的FTIR谱图中,2 968~2 930 cm^{-1} 处为C—

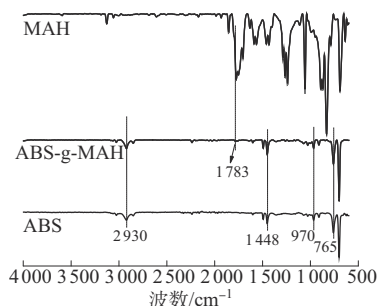


图1 ABS,MAH和ABS-g-MAH的FTIR谱图

H的饱和吸收峰;1 448 cm^{-1} 处为甲基的弯曲振动峰;970 cm^{-1} 处为C—H的面外弯曲振动峰;765 cm^{-1} 处为苯乙烯上C—H的弯曲振动峰。MAH基团在1 750~1 850 cm^{-1} 处有较强的C=O信号^[10],反应后所得样品在1 783 cm^{-1} 处出现了C=O吸收峰,表明MAH已经接枝到ABS上,成功合成了增容剂ABS-g-MAH。

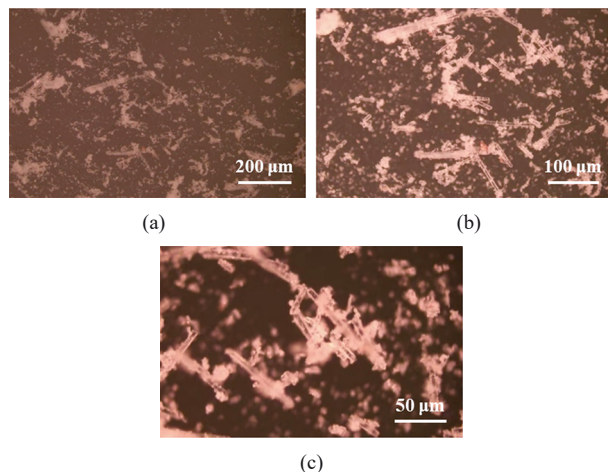
2.2 ABS/EP复合材料的力学性能分析

为了研究EP对复合材料力学性能的影响,分别测定了未加增容剂时不同EP用量所得复合材料的力学性能,结果见表2。由表2可以看到,在不添加增容剂的情况下,添加10份EP和20份EP复合材料的拉伸强度相比纯ABS均有提高,分别由51.7 MPa升高到54.6 MPa和52.2 MPa,但30份EP填充ABS复合材料的拉伸强度反而下降。通过弯曲强度数据比较发现,ABS/EP复合材料的弯曲强度随EP含量的增加而提高。加入10份、20份和30份EP的复合材料与纯ABS相比,弯曲强度分别提高了7.8%,9.2%和10.2%。但ABS/EP复合材料的断裂伸长率和缺口冲击强度与纯ABS相比均有明显下降。

表2 未加增容剂的ABS/EP复合材料力学性能

编号	EP用量/份	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%	缺口冲击强度/($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$)	弯曲强度/MPa
1	0	51.7	16.1	16.09	70.8
2	10	54.6	9.1	2.09	76.3
3	20	52.2	7.2	2.07	77.3
4	30	49.2	6.0	2.14	78.0

结合EP粉末的偏光显微镜照片(图2)可以看到,EP中有较多的棒状纤维、带颜色的小团块和粉末。这些分别为解离的玻璃纤维、树脂团块和热固性EP包裹的玻璃纤维颗粒^[2]。玻璃纤维作为聚合



a—放大50倍;b—放大100倍;c—放大200倍

图2 EP粉末的偏光显微镜照片

物基体中的重要增强材料,应用十分广泛。正是由于EP粉末中存在较多的玻璃纤维,使得ABS基体树脂的强度和刚性增强,体现为拉伸强度和弯曲强度的提高,与此同时,韧性降低,体现为断裂伸长率和缺口冲击强度的下降^[14]。

为进一步探究增容剂ABS-g-MAH对ABS/EP复合材料力学性能的影响,分别测定了不同增容剂用量下复合材料的力学性能变化,结果如图3和图4所示。由图3可以发现,随着ABS-g-MAH用量的增加,ABS/EP复合材料的拉伸强度整体呈增长趋势。未加增容剂时,添加10份EP的ABS/EP复合材料拉伸强度最大,但随着增容剂用量的增加,添加30份EP的ABS/EP复合材料的拉伸强度显著提高。添加10份ABS-g-MAH和30份EP的ABS/EP复合材料的拉伸强度与未加增容剂的相同EP用量的复合材料相比提高了25.2%,与纯ABS相比提高了19.1%。表明增容剂的加入对复合材料的力学性能有显著的增强作用。

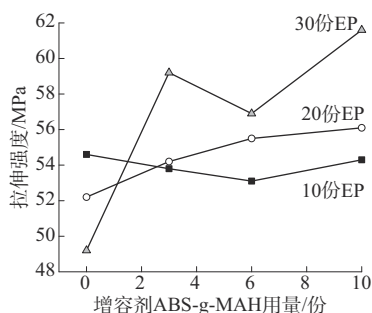


图3 不同增容剂用量的ABS/EP复合材料拉伸强度变化曲线

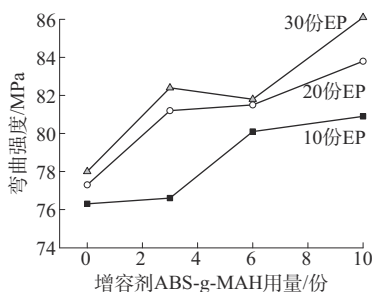


图4 不同增容剂用量的ABS/EP复合材料弯曲强度变化曲线

由图4可以发现,随着增容剂用量的增加,复合材料的弯曲强度也在稳步提高。未加增容剂时,随着EP用量的增加,复合材料的弯曲强度也有变化,但增幅不大:分别由70.8 MPa(纯ABS)提高到76.3 MPa(10份EP),77.3 MPa(20份EP)和78.0 MPa(30份EP)。在分别加入3份、6份和10份增容剂ABS-g-MAH后,添加30份EP的ABS/EP复合材料的弯曲强度由78.0 MPa,分别提高至82.4,81.8,86.1

MPa,相比纯ABS,依次提高了16.4%,15.5%和21.6%。

综合而言,EP的加入提高了复合材料的拉伸强度和弯曲强度,而使复合材料的断裂伸长率和缺口冲击强度降低。增容剂的加入能进一步提高复合材料的拉伸强度和弯曲强度,说明EP能提升材料的强度和刚性,且增容剂有进一步的促进作用^[15]。究其原因,可能是熔融挤出过程中,ABS-g-MAH中的MAH基团与EP粉末中的玻璃纤维发生作用^[12,16],促进了共混组分之间的分散和界面结合,使ABS/EP复合材料的拉伸强度和弯曲强度明显提升。

2.3 ABS/EP复合材料的硬度分析

除力学性能外,材料的硬度也是应用中的主要参数之一。通过邵氏硬度计对未加增容剂的复合材料进行硬度测试,相关结果如图5所示。由图5可以看出,未加增容剂时,ABS/EP复合材料的硬度随EP用量的增加而逐渐降低。相比于纯ABS而言,添加10份、20份和30份EP的复合材料的硬度分别下降了0.3%,2.0%和4.8%。

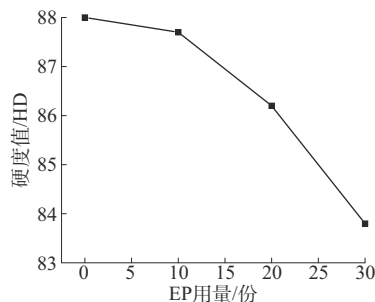


图5 未加增容剂的ABS/EP复合材料硬度变化曲线

随着增容剂ABS-g-MAH的加入,复合材料的硬度也发生了变化,相关结果如图6所示。由图6可以看出,当添加3份ABS-g-MAH时,ABS/EP复合材料硬度变化不大。但当增容剂用量为6份和10份时,添加20份EP和30份EP的ABS/EP复合材料的硬度有了明显的升高。相较于未添加增容剂的复合材料,当ABS-g-MAH用量为6份时,添加20份

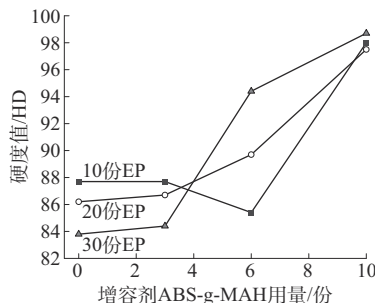


图6 不同增容剂用量的ABS/EP复合材料硬度变化曲线

EP和30份EP的ABS/EP复合材料的硬度分别提高了4.1%(由86.2 HD到89.7 HD)和12.6%(由83.8 HD到94.4 HD);当ABS-g-MAH用量为10份时,添加20份EP和30份EP的ABS/EP复合材料的硬度分别提高了13.1%(由86.2 HD到97.5 HD)和17.8%(由83.8 HD到98.7 HD)。同时,添加10份ABS-g-MAH和30份EP的ABS/EP复合材料的硬度比纯ABS提高了12.2%。由此可见,EP的加入可在一定范围内提高复合材料的硬度,增容剂有助于EP在ABS基体中的分散,使复合材料的硬度进一步提升。

2.4 ABS/EP复合材料的热稳定性分析

为保证熔融共混挤出过程能够顺利实施,复合材料的综合热稳定性也是需要考虑的重要性能。通过TG分析仪分别对EP(编号为0),ABS/EP复合材料和添加ABS-g-MAH的ABS/EP复合材料的热稳定性进行了测定,结果见表3。由表3可以看出,EP的初始分解温度为300℃,650℃下的残炭率为70.5%,最大分解速率对应温度为360℃;纯ABS的初始分解温度为400℃,最大分解速率对应温度为455℃,650℃下的残炭率为2.0%。可以发现,除编号为4的复合材料外,其余ABS/EP复合材料的初始分解温度均低于纯ABS。复合材料中,添加3份ABS-g-MAH和30份EP的ABS/EP复合材料的初始分解温度最低,为353℃,虽相较于纯ABS有明显降低,但仍高于ABS的加工成型温度(200~230℃)。此外,复合材料的最大分解速率对应温度与纯ABS相比均有所下降,但下降幅度很小,且增容剂的加入并无明显影响。EP的高残炭率也使复合材料的

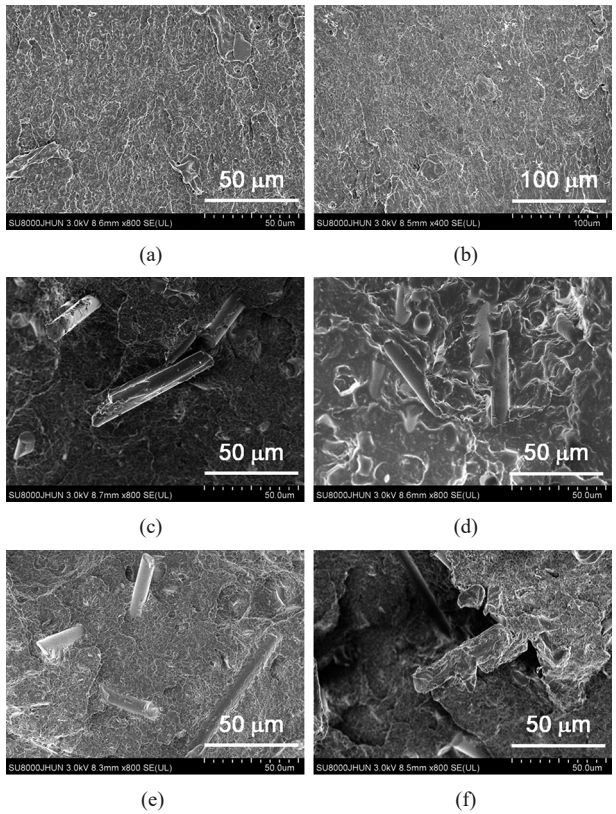
表3 EP,ABS/EP复合材料和添加增容剂ABS-g-MAH的ABS/EP复合材料的TG分析数据

编号	EP用量/份	增容剂用量/份	初始分解温度/℃	最大分解速率对应温度/℃	残炭率/%
0	100	0	300	360	70.5
1	0	0	400	455	2.0
2	10	0	373	450	9.3
3	20	0	364	450	14.6
4	30	0	400	448	27.1
5	10	3	377	448	12.7
6	20	3	363	450	13.5
7	30	3	353	445	25.1
8	10	6	386	446	3.6
9	20	6	361	448	15.4
10	30	6	357	448	20.7
11	10	10	371	452	8.2
12	20	10	362	450	15.2
13	30	10	361	448	18.7

残炭率随着EP含量的增加有显著提高。

2.5 ABS/EP复合材料的形貌分析

了解EP在ABS基体树脂中的分布情况,通过SEM分别对ABS,ABS/EP复合材料和添加ABS-g-MAH的ABS/EP复合材料样条冲击试验后的断面微观形貌进行了观测,如图7所示。由图7a和图7b可以看到,基体ABS的断面较为光滑,断裂纹与断裂纹之间分布密集交错,说明ABS韧性较好。加入EP后(图7c和图7d),复合材料断面变得粗糙,有玻璃纤维分布其中。图中裸露的棒状结构和圆形截面为分布在复合材料基质中的玻璃纤维,其表面较为光滑。且随着EP用量的增加(由10份到30份),断面玻璃纤维的密度也明显增大。在加入了增容剂ABS-g-MAH后,玻璃纤维表面变得粗糙,有其它物质缠绕其上(图7e和图7f),表明增容剂的加入可以改善共混组分之间的相容性,使复合材料具备更好的综合性能。



纯ABS:a—放大800倍;b—放大400倍

ABS/EP复合材料:c—10份EP;d—30份EP

添加10份ABS-g-MAH的ABS/EP复合材料:e—10份EP,f—30份EP
图7 EP,ABS/EP复合材料和添加ABS-g-MAH的ABS/EP复合材料样条冲击试验后的断面SEM照片

3 结论

(1)通过反应挤出法成功制备了增容剂ABS-g-

MAH。

(2)随着EP含量的增加,ABS/EP复合材料的拉伸强度先升高后降低、弯曲强度逐渐增加,而断裂伸长率、缺口冲击强度和硬度下降。

(3)增容剂ABS-g-MAH的加入可以显著提高ABS/EP复合材料的拉伸强度、弯曲强度和硬度,且对复合材料的综合热稳定性影响较小。

参考文献

- [1] 林芝,陆书玉,罗丽娟.废弃线路板环氧树脂再利用技术初探[J].环境科技,2009,22(5):1-3.
Lin Zhi, Lu Shuyu, Luo Lijuan. Recycling of epoxy in waste printed circuit boards (PCBs)[J]. Environmental Science and Technology, 2009, 22(5):1-3.
- [2] 管传金,王景伟,伊勇,等.废弃印刷线路板及热固性环氧树脂废弃物非金属材料回收研究[J].江苏理工学院学报,2017,23(6):1-7.
Guan Chuanjin, Wang Jingwei, Yi Yong, et al. Study on recovering epoxy resins and glass fiber from waste PCB and thermosetting epoxy resin[J]. Journal of Jiangsu University of Technology, 2017, 23(6):1-7.
- [3] 邱军,李娜,刘光富.废弃线路板中非金属材料再利用的研究进展[J].工程塑料应用,2011,39(2):91-95.
Qiu Jun, Li Na, Liu Guangfu. Progress in research of reusing of nonmetallic materials in waste printed circuit board[J]. Engineering Plastics Application, 2011, 39(2):91-95.
- [4] 徐敏.废弃印刷线路板的资源化回收技术研究[D].上海:同济大学,2008.
Xu Min. Research on the recycling and reutilization of printed circuit board scraps[D]. Shanghai: Tongji University, 2008.
- [5] 黄继忠,陆静蓉,朱炳龙,等.废印刷线路板中非金属材料再生利用进展[J].再生资源与循环经济,2017,10(10):31-36.
Huang Jizhong, Lu Jingrong, Zhu Binglong, et al. Progress of recycling and utilization of nonmetallic materials in waste circuit boards [J]. Recyclable Resources and Circular Economy, 2017, 10(10): 31-36.
- [6] 郝娟娟,王乙舒,吴玉峰,等.废线路板非金属材料回收利用技术现状与展望[J].材料导报,2021,35(7):7 001-7 012.
Hao Juanjuan, Wang Yishu, Wu Yufeng, et al. Current situation and prospect of recovery and utilization of non-metal materials of waste printed circuit board[J]. Materials Reports, 2021, 35(7): 7 001 - 7 012.
- [7] 孟征,孙兆懿,贺芳,等.高光免喷涂ABS/PMMA合金研究进展[J].工程塑料应用,2016,44(2):134-139.
Meng Zheng, Sun Zhaoyi, He Fang, et al. Advance in research of ABS/PMMA alloy with high-gloss and free-spraying[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(2):134-139.
- [8] 姚志光,高军龙,张朝群. ABS/PMMA 共混物在注塑成型加工中性能和微观结构的变化[J].塑料科技,2017,45(7):66-70.
Yao Zhiguang, Gao Junlong, Zhang Chaoqun. The change of properties and microstructure of ABS/PMMA blends during the injection molding process[J]. Plastics Science and Technology, 2017, 45 (7):66-70.
- [9] 任亮,赵博文,陈可佳,等. EP/ABS 复合材料的结构与性能研究 [J].塑料科技,2018,46(7):29-33.
Ren Liang, Zhao Bowen, Chen Kejia, et al. Study on structure and properties of epoxy/ABS composites[J]. Plastics Science and Technology, 2018, 46(7):29-33.
- [10] Farhad G, Reza G, Omid M J. Non-isothermal DSC curing kinetics study of silicone-modified epoxy/ABS/GO nanocomposite[J]. Polymer Composite, 2022, 43:3 794-3 808.
- [11] 王益龙,刘广宇,蹇锡高,等.反应性挤出聚丙烯接枝偶联马来酸酐的研究[J].合成树脂及塑料,1994,11(3):4-9.
Wang Yilong, Liu Guangyu, Jian Xigao, et al. A study on reactive extrusion of grafting coupling-maleic-ester onto polypropylene[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 1994, 11(3):4-9.
- [12] 田丽娟.反应挤出法制备相容剂ABS-g-MAH及其在PBT/ABS合金中的应用研究[D].沈阳:辽宁大学,2018.
Tian Lijuan. Study on the preparation of compatibilizer ABS-g-MAH and its application in PBT/ABS Alloy by reaction extrusion [D]. Shenyang: Liaoning University, 2018.
- [13] 娄金分,罗筑,夏忠林,等.反应挤出制备聚丙烯接枝马来酸酐的研究进展[J].塑料工业,2013,41(9):12-15,38.
Lou Jinfen, Luo Zhu, Xia Zhonglin, et al. The research progress on preparation of maleic anhydride grafted polypropylene by reactive extrusion[J]. China Plastics Industry, 2013, 41(9): 12 - 15, 38.
- [14] 杜娟,许阳,李桐,等.纤维增强ABS复合材料的制备和力学性能研究[J].塑料科技,2023,51(3):29-33.
Du Juan, Xu Yang, Li Tong, et al. Preparation and mechanical properties of fiber reinforced ABS composites[J]. Plastics Science and Technology, 2023, 51(3):29-33.
- [15] 陈玉胜,张祥福,张勇,等.马来酸酐接枝ABS及其应用[J].中国塑料,2000,14(5):5-10.
Chen Yusheng, Zhang Xiangfu, Zhang Yong, et al. Maleic anhydride grafted ABS and its application[J]. China Plastics, 2000, 14 (5):5-10.
- [16] Balakrishnan S, Neelakantan N R. Mechanical properties of blends of polycarbonate with unmodified and maleic anhydride grafted ABS[J]. Polymer International, 1998, 45:347-352.