

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.11.002

长玻纤增强 PP/PA6 合金材料的性能

张超¹,徐洪耀²,夏建盟¹,罗忠富¹,刘纪庆¹,叶士兵¹

(1. 上海金发科技发展有限公司,上海 201714; 2. 东华大学材料学院,上海 201620)

摘要:以连续长玻璃纤维为增强材料,以聚丙烯(PP)与尼龙(PA)6树脂为基体,以马来酸酐接枝 PP(PP-g-MAH)作为相容剂,经过双螺杆挤出机和特制的浸润装置制备了长玻纤增强 PP/PA6 合金材料。通过常规力学性能、球压痕硬度、耐划伤、热变形温度等测试和微观结构分析,考察了 PA6 含量及其与 PP-g-MAH 质量比对合金材料强度、刚性、常低温冲击性能、硬度、耐刮擦以及耐热性能的影响。结果显示,当 PA6/PP-g-MAH 质量比为 2,即 PA6 含量为 10 份,PP-g-MAH 含量为 5 份时,合金材料的综合性能达到最佳;当 PA6/PP-g-MAH 质量比低于 2 时,PA6 特性优势随着其含量增加而提升,而当 PA6/PP-g-MAH 质量比高于 2 时,相容剂不足以增容 PP/PA6 两相,综合性能有所衰减。所制备的长玻纤增强 PP/PA6 合金材料具有较好的强度、刚性、韧性、硬度以及更好的 -40℃ 冲击性能,且其密度低,耐刮擦性能优异,在特殊领域如电动工具外壳具有广阔的应用前景。

关键词:长玻纤;聚丙烯;尼龙 6;增强;合金;力学性能;相容剂

中图分类号:TQ327.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2017)11-0007-06

Properties of Long Glass Fiber Reinforced PP/PA6 Alloy

Zhang Chao¹, Xu Hongyao², Xia Jianmeng¹, Luo Zhongfu¹, Liu Jiqing¹, Ye Shibing¹

(1. Shanghai KINGFA Sci & Tech Co. Ltd., Shanghai 201714, China; 2. Department of Materials, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: Long glass fiber reinforced PP/PA6 alloys were prepared through the twin-screw extruder combined with a special infiltration device, using long glass fiber as reinforced material, PP/PA6 as matrix, and a certain amount of maleic anhydride grafted polypropylene (PP-g-MAH) as compatibilizer. By measuring the common mechanical properties, the ball indentation hardness, scratch resistance, thermal deformation temperature and observing the microstructure, the effects of PA6 content and the mass ratio of PA6/PP-g-MAH on the strength, rigidity, impact resistance at room and lower temperature, hardness, scratch resistance and heat resistance of the alloys were investigated. The results show that when the mass ratio of PA6/PP-g-MAH is 2, that is 10 phr of PA6 and 5 phr of PP-g-MAH, the alloy obtain the best overall performance. When the ratio is lower than 2, the advantages of PA6 are enhanced with the increase of PA6 content, while the ratio is higher than 2, the PP-g-MAH is not sufficient to compatibilize PP/PA6 phases, which results in the decrease of the overall performance of alloy. The prepared long glass fiber reinforced PP/PA6 alloy has good strength, rigidity, toughness, hardness and better impact resistance at -40℃, and has low density and excellent scratch resistance, which has a wide application prospect in special areas such as electric tool housing.

Keywords: long glass fiber; polypropylene; polyamide 6; reinforcement; alloy; mechanical property; compatibilizer

聚丙烯(PP)树脂具有加工性能好,耐化学性能佳,耐吸水性能优等特点,但是同时具有常温缺口冲击强度低,耐热性差以及尺寸稳定性差等缺点,因而限制了其应用范围^[1]。作为重要的工程塑料,尼龙(PA)具有优异的力学性能、耐热性、耐磨性和高硬度,但是因其易吸水而导致性能下降,成为加工和应用中的难题^[2]。PP/PA 合金体系的研究主要目的是通过 PA 和 PP 共混实现相互改性,取长补短^[3]。然而,PP 属于非极性聚合物,PA 属于极性聚合物,两者极性差别很大,直接共混所得合金性能较差。目前,改善两者相容性问题最经济和有效的

方式是添加相容剂。张甲敏等^[4]利用苯乙烯单体将马来酸酐(MAH)接枝于乙丙共聚物上,并添加于 PP/PA66 体系中,当相容剂质量分数从 0% 增加到 10% 时,力学性能在总体上得到提高,但继续增加相容剂含量,合金的力学性能开始从出现波动。孙晓东等^[5]利用甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)接枝 PP(PP-g-GMA)作为相容剂,所得的 PP/PA6 合金的拉伸强度可提高 46%,弯曲强度可提高 32%,但 PP-g-GMA 对冲击强度影响不大。何孟文等^[6]研究

联系人:张超,博士,主要研究方向为改性塑料

收稿日期:2017-09-05

了 MAH 接枝 PP (PP-g-MAH) 对 PP/PA6 体系的结晶行为和发泡的影响,结果显示 PP-g-MAH 对 PA6 相的熔融行为并没有显著的影响,但却使其结晶温度略有下降;合金的发泡倍率和泡孔直径随着 PP-g-MAH 含量的增加而逐渐减小。

良好的 PP/PA 相容体系可以提高材料的耐冲击性、耐热性、耐磨性和硬度,并且可以改善加工特性、制件外观等^[7-8]。在目前的工业应用案例中,长玻纤增强 PP/PA 合金材料被认为能够最大化发挥出 PP/PA 合金的优势^[9-10]。相比于长玻纤增强 PP,长玻纤增强 PP/PA 合金可以同时提高其刚性、耐热性、耐磨性能和硬度;与玻纤增强 PA 相比,长玻纤增强 PP/PA 合金在满足工程应用需求的同时显示出极大的成本和轻量化的优势。长玻纤增强 PP/PA 合金的一个典型应用是替代短玻纤增强 PA 复合材料用作耐冲击器具,如电动工具外壳。

目前,尽管短玻纤增强 PP/PA 的开发工作已趋于成熟,但是长玻纤增强 PP/PA 合金材料的研究鲜有报道。笔者主要考察了 PA6 和相容剂的比例对长玻纤增强 PP/PA6 合金体系的力学性能、耐磨性、耐热性及硬度等性能的影响,为同类材料的制备提供参考。

1 实验部分

1.1 主要原料

均聚 PP:PT231,李长荣化工(福聚)有限公司;

共聚 PP:EP540V,巴塞尔公司;

PA6:HY-2500A,江苏海阳化纤有限公司;

PP-g-MAH: Bondyram 1001,接枝率为 0.8%,上海壮景化工有限公司;

玻纤:ER4305PM-2400,中国巨石股份有限公司;

抗氧剂:Y-001 和 Y-002,巴斯夫公司。

1.2 主要设备及仪器

双螺杆挤出机:TSE-40A 型,南京瑞亚弗斯特高聚物装备有限公司;

注塑机:PL860/290V 型,无锡海天机械有限公司;

固体密度计:XS104 型,梅特勒托利多公司;

万能试验机:Z1010 型,德国 Zwick/Roell 公司;

冲击试验机:B5113.30 型,德国 Zwick/Roell 公司;

热变形温度测试仪:40-197-100 型,德国 Coesfeld 公司;

电动十字划格仪:430P-I 型,德国 Erichsen 公司;

塑料球压痕硬度计:Zwick/3106 型,德国 Zwick/Roell 公司;

马弗炉:XMT 型,上海雷韵试验仪器制造有限公司;

玻纤长度分布仪:FASEP 型,德国 KARG 公司;

二次元影像测量仪:YVM-3020 型,上海万衡精密仪器有限公司;

钨灯扫描电子显微镜(SEM):S-3400N 型,日本 Hitachi 公司。

1.3 试样制备

PP 树脂、PA6 树脂、相容剂 PP-g-MAH 及抗氧剂按照表 1 中配比混合均匀,由双螺杆挤出机制备 PP/PA6 合金,挤出机各段温度依次为 50,120,180,180,200,200,200,200,220℃。物料经挤出机熔融后和玻纤经过特制的浸润模头制备得到玻纤质量分数为 30% 的长玻纤增强 PP 材料 (GFPP-L30) 或 PP/PA6 合金材料 (GFPP/PA6-L30),并经过牵引、干燥、切粒获得长度为 12 cm 的粒子。粒子经过注塑得到力学性能测试 ISO 标准试样,3 mm×100 mm×100 mm 方板,4 mm 厚的球压痕硬度板。注塑机 3 段温度为 235,255,260℃;注塑压力 3.8 MPa,保压时间 10 s,低背压。

表 1 GFPP/PA6-L30 的配方 份

原 料	试样代号						
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]
PP PT231	35	29.5	28.5	27.5	26.5	25.5	30
PP EP540 V	35	29.5	28.5	27.5	26.5	25.5	30
PA6 HY-2500A		6	8	10	12	14	10
相容剂 PP-g-MAH		5	5	5	5	5	
PA6/PP-g-MAH 质量比		1.2	1.6	2	2.4	2.8	
玻纤 ER4305PM-2400	30	30	30	30	30	30	30
抗氧剂 Y-001	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
抗氧剂 Y-002	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

1.4 测试与表征

密度按 ISO 1183-1-2012 测试,介质为无水乙醇,测试温度 23℃;

拉伸性能按 ISO 527-1/2-2012 测试,拉伸速率为 10 mm/min;

常低温悬臂梁缺口冲击强度按 ISO 180-2000 测试,其中,常温为 23℃,低温为 -40℃;

弯曲性能按 ISO 178-2010 测试,弯曲速率为 2 mm/min;

球压痕硬度按 ISO 2039-1-2011 测试,测试温度 23℃;

耐刮擦性能用电动十字划格仪测试,载荷为 10 N,刮擦实验后的表面用二次元影像测量仪观察;

热变形温度按 ISO 75-2-2013 测试,负荷为 1.80 MPa ;

玻纤长度分析:粒料先经过马弗炉高温 (650℃, 30 min) 处理,剩下玻纤灰分,对其使用玻纤长度分布仪分析表征玻纤保留长度;

采用 SEM 观察冲击试样断面形貌并拍照。

2 结果与讨论

2.1 物理力学性能分析

(1) 强度、刚性和密度。

鉴于前人已有较多研究集中在相容剂含量对 PP/PA 合金结构和性能的影响^[4-6],且笔者经过实验发现 5 份为相容剂最适宜的含量,而 PA6 对材料的性能影响非常重要,故主要讨论 PA6 的引入对合金材料特性的贡献。为了明确相容剂不可或缺的作用,在 PA6 含量变化的基础上,主要研究了 PA6/PP-g-MAH 的质量比与合金材料性能的关联。表 2 示出试样 1[#]~7[#] 的拉伸及弯曲强度、弯曲弹性模量和密度。由表 2 可以看出,随着 PA6 树脂含量增加,GFPP/PA6-L30 的拉伸强度、弯曲强度及弯曲弹性模量均先升高后降低。当 PA6 含量为 10 份,即 PA6/PP-g-MAH 质量比为 2 时,试样 4[#] 的综合性能最优,其拉伸强度达到 121.2 MPa,弯曲强度达到 160.1 MPa,弯曲弹性模量达到 6605 MPa,相较于未加 PA6 时的试样 1[#] 分别提高了 7.8%,14.1% 和 16.3%。这表明在 PP 中加入 PA6,可以改善合金的整体强度,特别是材料的刚性。然而当不加相容剂时,所对应的试样 7[#] 力学性能相较于相同 PA6 含量的试样 4[#] 要差,特别是拉伸强度降至 107.7 MPa,低于试样 1[#] 的拉伸强度,主要由于不含相容剂时,PA6 和 PP 完全不相容,相分离严重。

表 2 试样 1[#]~7[#] 的拉伸及弯曲强度、弯曲弹性模量和密度

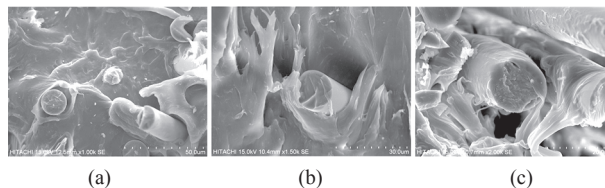
试 样	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]
PA6/PP-g-MAH 质量比	1.2	1.6	2	2.4	2.8		
拉伸强度/MPa	109.9	112.7	118.4	121.2	116.9	113.5	107.7
弯曲强度/MPa	140.3	145.7	151.8	160.1	152.6	147.2	148.6
弯曲弹性模量/MPa	5679	5780	5931	6605	6094	5748	5932
密度/(g·cm ⁻³)	1.121	1.123	1.128	1.133	1.137	1.145	1.135

分析上述结果可知,当 PA6/PP-g-MAH 质量比 ≤ 2 时,相容剂足够增容 PA6 和 PP。在相容剂的作用下,PA6 分散相平均粒径较小且粒径分布宽度较窄。同时,强极性的 PA6 能够与玻纤表面形成

氢键,从而提高界面间的结合强度,所以合金材料的强度随 PA6 树脂含量的增加而提高。当 PA6/PP-g-MAH 质量比 > 2 时,PA6 含量提高,导致相容剂含量不足以增容 PA6 和 PP,相分离逐渐严重。PA6 含量增加导致合金中 PA6 分散相平均粒径增大、粒径尺寸分布宽度增大,合金材料在受力时易发生脱粘现象,降低了强度。同时,PA6 含量增加使 PA6/PP 合金体系的黏度增大,降低了树脂对玻纤的浸润程度。

纯 PP 的密度在 0.90 g/cm³ 左右,而 PA6 密度较高,约为 1.14 g/cm³,因此随着 PA6 含量的提高,PP/PA6 体系的密度逐渐提高。GFPP/PA6-L30 合金的密度比相同含量的短玻纤增强 PA6 的密度 (1.36 g/cm³) 低很多,这是 PP/PA6 合金在实际应用中的优势之一,特别是在汽车领域的轻量化设计方面。

对于长玻纤增强材料,长玻纤的增强作用主要体现在当材料受力断裂时,需要经过树脂的撕裂,玻纤的拔出和断裂,其中玻纤强度和界面结合力决定了拉伸强度,玻纤拔出和树脂的屈服则影响断裂伸长率^[11]。长玻纤自身沿着纤维方向的强度很高,部分纤维在树脂基体内有一定的取向,取向的玻纤需要很高的应力才能拔出和断裂。为了验证相容剂的作用机理,利用 SEM 对试样 1[#],4[#],7[#] 的断面微观结构进行表征,如图 1 所示。由图 1 可以看出,试样 1[#] 中因不含相容剂和 PA6,其断面是典型的玻纤增强 PP 的断面形貌,玻纤拔出,表面光滑,说明玻纤与 PP 树脂间的结合力较弱^[12];试样 7[#] 中不含相容剂,玻纤表面光滑,且树脂基体间有孔隙,说明树脂相容性差,玻纤结合力弱;试样 4[#] 中,断面呈现完全不同的形貌,拔出的玻纤表面包覆一层树脂,说明树脂与玻纤之间获得了良好的结合力,同时能够观察到明显的树脂撕裂的痕迹,表明 PP 和 PA6 之间相容性较好,没有发生完全相分离。因此,相容剂同时提高了纤维与树脂之间的界面结合强度及两种树脂的相容性,从而提高了合金材料的力学性能。



a—1[#]; b—4[#]; c—7[#]

图 1 试样 1[#],4[#],7[#] 的冲击断面微观形貌

(2) 常、低温缺口冲击强度。

图2示出试样1[#]~7[#]的常、低温缺口冲击强度。由图2可见,无论常温还是低温环境下,GFPP/PA6-L30合金材料的冲击强度随着体系中PA6/PP-g-MAH质量比的增大呈现先升高后降低的趋势。当PA6/PP-g-MAH质量比为2时,试样4[#]的常、低温缺口冲击强度达到最高,分别为39.6,41.4 kJ/m²,比试样1[#]分别提高了55%和51%,比试样7[#]分别提高了40%和40%。对于普通短玻纤增强材料,其低温冲击强度一般会急剧下降。而长玻纤增强材料表现出相反的趋势,冲击强度在低温时表现更优,这也是长玻纤增强材料引人注目的优点。纤维增强树脂吸收冲击能量的方式主要包括纤维断裂、拔出和树脂的断裂,其中纤维断裂消耗的能量最高。常温条件下,PP和PA6树脂韧性较大,受到冲击应力时,基体树脂首先产生裂纹,当裂纹扩展到玻璃纤维时发生拔出,此时树脂的断裂吸收的能量决定材料的冲击强度。低温时,树脂处于玻璃态,裂纹发展方向与玻璃纤维的取向方向趋于垂直,此时冲击应力必须使玻璃纤维断裂、拔出,吸收更多的能量,因此冲击强度更高。

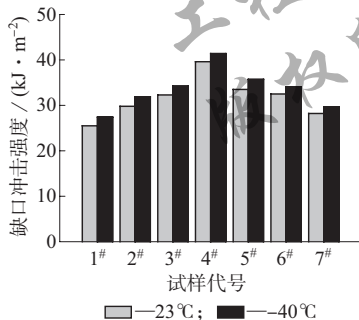
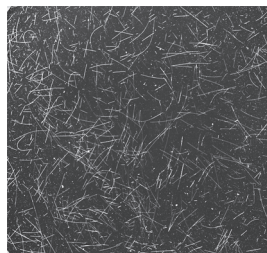


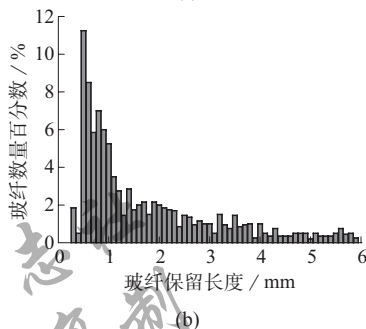
图2 试样1[#]~7[#]的常、低温缺口冲击强度

在制备的长玻纤增强PP/PA6合金体系中,树脂组成相似,挤出和注塑工艺完全相同,玻纤保留长度没有显著区别,因此影响合金材料力学性能的主要因素为树脂的相容性和玻纤与树脂结合强度^[13]。图3为PA6/PP-g-MAH质量比为2时试样4[#]的玻纤分布形貌以及统计的玻纤保留长度。图3显示,玻纤在1~6 mm范围内皆有分布,平均保留长度为1.97 mm,中位值为1.12 mm,远高于短玻纤增强体系。长度超过1 mm的玻纤含量为54.3%,较长的玻纤保留长度是长玻纤增强复合材料具有优异力学性能特别是优异冲击性能的关键。纤维的保留长度较长,在冲击过程中纤维拔出的长度越长,吸收的能量就越高,冲击韧性也随之提高。同时,不可忽略的

是,较长的玻纤在树脂中较易搭桥,形成的三维交错网络结构更有利于传递应力而使能量消散至更大的区域。



(a)



a—玻纤形貌图; b—玻纤保留长度统计图

图3 PA6/PP-g-MAH质量比为2时试样4[#]的玻纤形貌以及统计的玻纤保留长度

(3) 球压痕硬度。

由于PA6自身的硬度大、耐磨性能优越,添加至PP中可以显著改善PP的硬度和耐磨性能。图4为试样1[#]~7[#]的球压痕硬度。可以发现,当加入PA6和相容剂后,所有GFPP/PA6-L30的球压痕硬度均有所提升,且提升幅度随着PA6/PP-g-MAH质量比增加而增大。当PA6/PP-g-MAH质量比达到2.8时,即PA6含量达到14份时,合金材料的球压痕硬度达到163 N/mm²,接近短玻纤增强PA6的硬度数值。PA6的引入不但增加PP的刚性,同时提高了材料的硬度,在复杂结构注塑件中,GFPP/PA6-L30可以有效地防止螺丝柱开裂和滑丝。

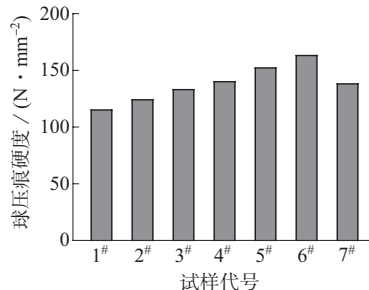


图4 试样1[#]~7[#]的球压痕硬度

2.2 耐刮擦性能分析

利用十字划格刮擦实验研究了试样1[#]~6[#]的耐

刮擦性能,如图 5 所示。由图 5 可见,10 N 载荷下经过探针刮擦的区域在二次元显微镜下能够观察到明显凹陷、发白。试样 1[#] 中不含 PA6 和相容剂,刮擦后材料表面的凹痕深且发白明显。与力学性能变化趋势相似,当 PA6/PP-g-MAH 质量比为 2 时,试样 4[#] 的十字划格纹路最浅且发白最不明显,耐刮擦性能最好。可能是由于相容剂 PP-g-MAH 中的 PP 基团与 PP 基体相容,而 MAH 基团可与 PA6 形成共聚物存在于两相界面,使界面粘结力增强,两相间张力减小,界面粘结力提高,从而使材料在经过外力刮擦时产生较强的抵抗力,耐刮擦性能得到提高。当 PA6/PP-g-MAH 质量比 ≤ 2 时,PA6 含量起主导作用,PA6 含量低,不足以完全抵抗外力划伤;当 PA6/PP-g-MAH 质量比 > 2 时,相容剂不足,相容性开始下降,界面结合力下降,耐刮擦性能降低。实验中也发现,不含相容剂时,试样 7[#] 在十字划格实验后留下了明显的痕迹,进一步证明了相容剂对 GFPP/PA6-L30 耐磨性能有重要影响。

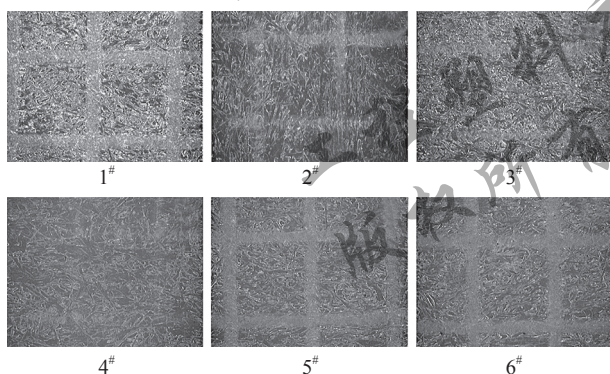


图 5 试样 1[#]~6[#] 的刮擦实验十字划格的二次元显微镜图片

2.3 耐热性能分析

质量分数为 30% 的长玻纤增强 PP 材料 (GFPP-L30) 的熔点在 165℃ 左右,而 PA6 属于工程塑料,其熔点在 221℃ 左右。因此,PP/PA6 合金的另一个优势是引入 PA6 提高 PP 材料的耐热性能。相比于 GFPP-L30,GFPP/PA6-L30 具有更广的耐环境应用范围。图 6 为试样 1[#]~7[#] 的热变形温度。如图 6 所示,试样 1[#] 在 1.80 MPa 负荷下热变形温度为 156℃,PA6 的引入使合金材料的热变形温度得到提高。当 PA6/PP-g-MAH 质量比 ≤ 2 时,随着 PA6 含量从 6 份增加至 10 份,合金材料的热变形温度从 159℃ 增加至 165℃,说明 PP 和 PA6 具有良好的相容性,PA6 抑制了 PP 相的熔融转变。但是当 PA6/PP-g-MAH 质量比 > 2 时,随着 PA6 含量继续增加,热变形温度增加并不显著,可能是由于

PP/PA6 相容性下降,界面结合强度弱,PA6 对 PP 相的热变形行为抑制效果减弱。试样 7[#] 的热变形温度为 163℃,低于试样 4[#] 的 165℃,再次验证了相容剂对 PP/PA6 的增容作用,以及相容性对热变形温度的关键作用。

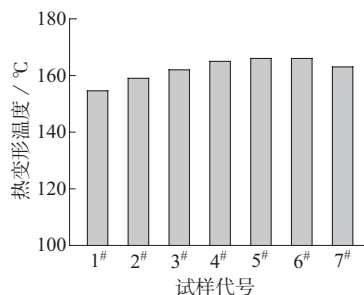


图 6 试样 1[#]~7[#] 的热变形温度

2.4 应用实例

上述研制的 GFPP/PA6-L30 目前应用于某电动工具外壳,该制件的特点是:结构复杂,含多个螺丝柱和卡扣,对刚性和硬度要求较高;考虑到实际应用工况,电动工具对材料的冲击性能和耐刮擦及耐热性能具有严格要求。表 3 示出某电动工具对材料性能的指标要求以及所制备的 GFPP/PA6-L30 (试样 4[#]) 的性能对比。由表 3 可见,试样 4[#] 能够满足电动工具材料的技术指标要求。

表 3 某电动工具外壳材料的技术指标和试样 4[#] 性能结果比较

项 目	技术指标	测试结果
密度 / (g · cm ⁻³)	1.12~1.15	1.133
拉伸强度 / MPa	≥ 110	121.1
弯曲强度 / MPa	≥ 145	160.1
弯曲弹性模量 / MPa	$\geq 5\,500$	6\,605
23℃ 缺口冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	≥ 30	39.6
-40℃ 缺口冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	≥ 35	41.4
热变形温度 / °C	≥ 150	165
球压痕硬度 / (N · mm ⁻²)	≥ 125	140

3 结论

(1) 在长玻纤增强 PP 体系中,引入 PA6 和相容剂 PP-g-MAH,当 PA6/PP-g-MAH 质量比 ≤ 2 时,相容剂足够增容两相,随着 PA6 含量的增加,合金材料的综合性能整体呈现提高的趋势。当 PA6/PP-g-MAH 质量比 > 2 时,相容剂含量不足,随着 PA6 含量继续增加,PP 和 PA6 相容性逐渐变弱,合金材料的综合性能趋于平稳甚至恶化。

(2) 当 PA6/PP-g-MAH 质量比为 2 时,即 PA6 含量为 10 份,相容剂含量为 5 份时,GFPP/PA6-L30 综合性能最优:拉伸强度为 121.1 MPa,弯曲强度为 160.1 MPa,弯曲弹性模量为 6\,605 MPa,常温缺口冲击强度为 39.6 kJ/m²,低温 (-40℃) 缺口冲

击强度为 41.4 kJ/m^2 , 球压痕硬度为 140 N/mm^2 , 热变形温度为 165°C , 且具有最优的耐刮擦性能。

(3) GFPP/PA6-L30 具有较高的刚性、冲击性能、硬度和耐磨性能, 在电动工具外壳等领域具有较大的应用前景。

参考文献

- [1] 安峻莹, 孟征, 苏昱. 长玻纤增强聚丙烯复合材料力学性能的研究进展[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(6):132-136.
An Junying, Meng Zheng, Su Yu. Research progress of mechanical property of long glass fiber reinforced polypropylene composites[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(6):132-136.
- [2] 谭志勇, 刘庆辉, 李丹, 等. 玻纤增强尼龙 6 的挤出工艺及力学性能[J]. 塑料工业, 2012, 40(5):68-73.
Tan Zhiyong, Liu Qinghui, Li Dan, et al. Extrusion process and mechanical properties of glass fiber reinforced PA6[J]. Plastics Industry, 2012, 40(5):68-73.
- [3] 王红瑛, 邵会菊, 张凯舟. PP/PA6 合金材料的结晶行为和亲水性[J]. 塑料, 2015, 44(6):15-18.
Wang Hongying, Shao Huiju, Zhang Kaizhou. Crystallization behavior and hydrophilicity of PP/PA6 composite[J]. Plastics, 2015, 44(6):15-18.
- [4] 张甲敏, 陈军龙. 不同接枝率的增容剂对 PA66/PP 共混物结构与性能的影响[J]. 工程塑料应用, 2015, 41(5):115-119.
Zhang Jiamin, Chen Junlong. Influences of compatibilizers with different graft ratio on structure and mechanical properties of PA66/PP blends[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 41(5):115-119.
- [5] 孙晓东, 苑会林, 李洪飞. PP-g-GMA 的制备及其改性 PP/PA6 合金性能[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(9):33-37.
Sun Xiaodong, Yuan Huilin, Li Hongfei. Preparation of PP-g-GMA and its modification with PP/PA6 alloy[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(9):33-37.
- [6] 何孟文, 杨敏芬, 周岚, 等. PA6/PP/PP-g-MAH 复合材料非等温结晶性能及可发泡性能研究[J]. 浙江理工大学学报: 自然科学版, 2016, 35(4):521-527.
He Mengwen, Yang Minfen, Zhou Lan, et al. Non-isothermal crystallization property and foaming property of PA6/PP/PP-g-MAH composites[J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University: Natural Science Edition, 2016, 35(4):521-527.
- [7] Yu Demei, Wu Jingshen, Zhou Limin, et al. The dielectric and mechanical properties of a potassium-titanate-whisker-reinforced PP/PA blend[J]. Composites Science and Technology, 2000, 60(99):499-508.
- [8] Shi De'an, Ke Zhuo, Yang Jinghui, et al. Rheology and morphology of reactively compatibilized PP/PA6 blends[J]. Macromolecules, 2002, 35(21):8005-8012.
- [9] 吴清鹤, 谭寿再, 吴健文, 等. PA6/PP 合金的研制[J]. 工程塑料应用, 2007, 35(6):12-15.
Wu Qinghe, Tan Shouzai, Wu Jianwen, et al. Preparation of PA6/PP alloy[J]. Engineering Plastics Application, 2007, 35(6):12-15.
- [10] 赵娟, 崔怡, 陈晓丽. 接枝聚丙烯增容改性 PP/PA 合金性能的研究[J]. 塑料工业, 2007, 35(6):19-22.
Zhao Juan, Cui Yi, Chen Xiaoli. Graft PP compatibilizing modification of PP/PA alloy[J]. Plastics Industry, 2007, 35(6):19-22.
- [11] 王选伦, 张凌端, 尹皓, 等. 短玻纤和连续玻纤增强聚丙烯复合材料的性能比较研究[J]. 山东化工, 2016, 45(1):6-9.
Wang Xuanlun, Zhang Lingrui, Yin Hao, et al. Comparison study on the properties of polypropylene composites reinforced by short glass fiber and continuous glass fiber[J]. Shandong Chemical Industry, 2016, 45(1):6-9.
- [12] 李文龙, 金江彬, 张挺, 等. 相容剂添加量对玻纤增强聚丙烯性能的影响[J]. 黑龙江科学, 2017, 8(8):45-47.
Li Wenlong, Jin Jiangbin, Zhang Ting, et al. Influence of compatibilizer content on the glass fiber reinforced polypropylene materials[J]. Heilongjiang Science, 2017, 8(8):45-47.
- [13] 朱春龙, 马超, 付发祥, 等. 汽车用玻纤增强 PP 的制备及力学性能研究[J]. 现代塑料加工应用, 2017, 29(3):29-31.
Zhu Chunlong, Ma Chao, Fu Faxiang, et al. Preparation and mechanical properties of glass fiber reinforced polypropylene composite for automobile[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2017, 29(3):29-31.

石墨烯新材料受热捧, 有望引爆工业 4.0 时代

石墨烯被誉为“新材料之王”, 科学家预言石墨烯将改变人类的 21 世纪, 其具有强度高、韧性好、质量轻、透光率高、导电性佳等特性。作为一种颠覆性的材料, 石墨烯对改造提升传统产业, 强化创新驱动, 促进经济稳增长、调结构增效益具有极为重要的战略意义。对于工业 4.0 时代来说, 石墨烯新材料可不止智能芯片这么简单。

鉴于石墨烯所蕴含的无限应用潜力及广泛性, 世界各国都在不遗余力推动石墨烯产业化发展。英国将石墨烯确定为今后重点发展的四项新兴技术之一, 韩国宣布将在国内形成石墨烯联盟。欧盟委员会将石墨烯列为“未来新兴技术旗

舰项目”之一, 十年提供 10 亿欧元资助, 将石墨烯研究提升至战略高度。

此外, 全球各大企业, 尤其是通讯巨头都在争相投入, 三星、苹果、谷歌和华为公司开始积累各种与石墨烯有关的专利, 未来的竞争之战已在实验室打响。石墨烯新技术新商业模式有望颠覆整个时代。

近年来, 我国石墨烯产业出现爆发式增长。尤其是 2016 年新增 700 多家企业, 产业规模相较 2015 年翻了 6 倍。按照产业发展路线图, 到 2020 年, 我国石墨烯产业的目标是形成百亿产业规模, 2025 年整体产业规模突破千亿元。

(聚碳复材)