

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.12.001

碳纤维增强聚丙烯复合材料的制备及性能^{*}

李思宇,高山俊,刘俊威,王凯

(武汉理工大学材料科学与工程学院,武汉 430070)

摘要:采用硝酸液相氧化法改性短切碳纤维(NCF),用以制备聚丙烯(PP)复合材料。以纤维含量和纤维种类为变量,通过万能力学试验机、熔体流动速率试验机、差示扫描量热、X射线衍射、扫描电子显微镜等研究它们对材料力学性能、流动性能、熔融温度以及结晶性能的影响。实验结果表明,纤维的含量影响纤维在基体中的分布,进而显著影响材料的性能,且含量在10%至20%区内时具有较好的增强效果;NCF与PP的界面具有更强的粘附力,这提升了复合材料的力学强度,降低了材料的断裂伸长率,降低了材料的熔融流动速率,提升了材料的结晶温度与结晶度,略微降低了材料的熔融温度;纤维含量与纤维种类均对材料的结晶晶型无明显影响。

关键词:碳纤维;聚丙烯;复合材料;表面改性;力学性能;结晶性能

中图分类号: TQ325.1+4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)12-0001-07

Preparation and Properties of Polypropylene Composites Reinforced by Short Carbon Fiber

Li Siyu, Gao Shanjun, Liu Junwei, Wang Kai

(School of Material Science and Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract : The short carbon fiber reinforced thermoplastic composite was prepared by polypropylene (PP) and the Nitric acid oxide carbon fiber (NCF), which was modified by wet chemical method before using. The mechanical properties, melt fluidity, thermal performance and crystalline performance of composites were investigated by using fiber content and fiber type as variables, through the universal mechanical testing machine, the melt flow rate test, differential scanning calorimetry, X ray diffraction, scanning electron microscopy (SEM) etc. The results indicate that the composites achieve the best synthesis mechanical strength when reinforced by NCF when the content of carbon fiber in composites is ranged from 10% to 20%. The PP / NCF composite show better interfacial adhesion which increase crystalline temperatures, crystallinity but decrease the melt temperatures and melt fluidity. The content and sort of carbon fibers have no obviously affect on the crystal form of the composites.

Keywords : carbon fiber ; polypropylene ; composite ; surface modification ; mechanical property ; crystalline performance

聚丙烯(PP)是一种重要的通用塑料,具有较低密度、较好力学性能和耐酸碱性能,被广泛应用于工业及生活中的各个领域。碳纤维(CF)作为一种性能优异的无机填料,具有高弹性模量、高强度、低密度、耐腐蚀等优点。将CF用于增强PP制得聚丙烯复合材料可极大地提升材料的力学性能,并维持材料质轻的特点,因而可进一步拓宽其在交通运输、航空航天、文体医疗及新能源等领域的应用^[1-5]。

但是,由于CF的惰性表面使其难以与基体形成高性能的界面层,严重制约了复合材料的力学性能^[6]。为了解决纤维与基体的相容性问题,常用思路一是从基体出发,即通过加入相容剂等助剂组分来增强树脂对纤维的浸润效果,提升纤维与基体的界面性能,以改善复合材料的综合性能。N. G. Karsli等^[7]研究了在PP/CF复合材料体系中引入相容剂马来酸酐接枝PP(PP-g-MAH)对复合材料

的影响。结果表明,相容剂能有效改善CF与PP基体的相容性,复合材料的拉伸强度、拉伸弹性模量、硬度随相容剂组分的提高而增强。戈翔等^[8]进一步从黏度的角度研究了在PP/CF体系中加入相容剂PP-g-MAH对体系的影响,结论与N. G. Karsli相似,相容剂的加入提高了PP与CF间的粘附力,且有助于CF在PP基体中更好地分散。

另一个常用思路是直接对CF进行表面改性。目前用于改性CF的方法可粗分为氧化改性和非氧化改性两大类,其目的是通过使纤维表面变得粗糙或是引入活性基团等方式来提升CF与树脂基体的界面性能。姚明等^[9-11]通过等离子处理和硅烷偶联

^{*} 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-12-0912)

联系人:高山俊,教授,主要从事塑料加工改性、阻燃剂的合成及应用、生物大分子的功能化研究

收稿日期:2017-10-03

剂两步来改性 CF,结果表明,经过等离子处理后纤维表面的羟基官能团密度显著提高,其 ILSS 性能较未改性前上升了 29.7%,再覆盖硅烷偶联剂涂层后,其 ILSS 性能较未改性前进一步上升了 48.7%^[11]。实际证明,这两种思路都能显著提高 CF 与树脂基体的界面性能。

相较于其它方法,液相氧化法因为具有原料易得、设备简单、操作简单、改性效率高的优点成为使用较多的改性方法。笔者采用液相氧化法处理短切 CF,后按照 CF 含量从 5% 到 30% 的配比,用密炼机、压铸机制备得到聚丙烯复合材料。旨在研究复合材料中合适的 CF 含量区间及 CF 对复合材料的增强机理,以期对实际生产和后续研究起到一定的参考作用。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PP: V30G,中国石化海南炼化化工有限公司;

CF: 东丽 T700,直径为 7 μm ,长度为 3~6 mm,深圳纤谷科技有限公司;

硝酸: 分析纯,信阳市化学分析厂;

丙酮: 分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器及设备

密炼机: SU-70 型,苏州苏研科技有限公司;

压铸机: R3213 型,武汉启恩科技发展有限公司;

切粒机: SHS-30 型,南京杰恩特机电公司;

立式注射机: M1200 型,武汉启恩科技发展有限公司;

电子悬臂梁冲击试验机: XJJD-5.5 型,承德纵驰检测仪器有限公司;

万能试验机: NKK-4005 型,深圳市南方精科仪器设备有限公司;

真空干燥箱: DZF-6020 型,巩义市英峪予华仪器厂;

鼓风干燥箱: DHG-9070A 型,上海索域设备有限公司;

集热式恒温加热磁力搅拌器: DF-101S 型,武汉科尔仪器设备有限公司;

X 射线衍射 (XRD) 仪: D8 Advance 型,德国布鲁克 AXS 公司;

熔体流动速率 (MFR) 试验机: CRS-MFR400A 型,苏州库尔斯仪器设备有限公司;

场发射扫描电子显微镜 (FESEM): Zeiss Ultra Plus 型,德国蔡司公司;

傅立叶变换红外光谱 (FTIR) 仪: NEXUS 型,美国 Thermo Nicolet 公司;

差式扫描量热 (DSC) 仪: DSC2910 型,德国 Netzsch 公司。

1.3 CF 的预处理

将短切 CF 原丝浸泡在装有丙酮溶剂的索氏提取器中,在 80℃ 下循环萃取 12 h,后取出用去离子水清洗两至三次,放入真空干燥箱在 80℃ 下干燥 8 h,得到去浆 CF,记为 CF。

将 CF 浸泡在装有浓硝酸的圆底烧瓶中,加热 110℃,冷凝回流 1 h,取出,用去离子水清洗至水溶液 pH 值呈中性,放入真空干燥箱在 80℃ 下干燥 8 h,得到氧化 CF,记为 NCF。

1.4 聚丙烯复合材料制备

将提前干燥好的 CF、NCF 分别按样品总质量的 5%、10%、15%、20%、25% 和 30% 称取,与 PP 混合,经由密炼机熔融共混,压铸机、切粒机挤出造粒。相应工艺参数为:密炼机混合温度为 185℃,转速为 30 r/min,混合时间为 10 min;压铸机的温度为 190℃,压力为 5~10 MPa。

粒料放入 80℃ 的鼓风干燥机干燥 8 h 后,使用注塑机注塑得到测试所需的样条。注塑机的工艺参数为:注射压力为 7 MPa,注射温度为 200℃,模具温度为 80℃,注射时间 12 s,合模时间 6 s,冷却时间 6 s。试样配方及编号列于表 1。

表 1 试样配方

试样编号	PP	CF	NCF	%
1 [#]	100	0	0	
2 [#]	95	5	0	
3 [#]	90	10	0	
4 [#]	85	15	0	
5 [#]	80	20	0	
6 [#]	75	25	0	
7 [#]	70	30	0	
8 [#]	95	0	5	
9 [#]	90	0	10	
10 [#]	85	0	15	
11 [#]	80	0	20	
12 [#]	75	0	25	
13 [#]	70	0	30	

1.5 性能测试

FTIR 测试: 将 CF 置于 80℃ 的烘箱中干燥 8 h 以上,取出与纯的 KBr 以 1 : 100 的比例混合并研磨均匀,然后在粉末压片机上压制成薄片,观察其在 500~4 000 cm^{-1} 的红外吸收情况;

MFR 测定: 参照 GB/T 3682-2000,测试温度

为 230℃,负荷 2.16 kg;

拉伸性能测试:参照 GB/T 1040.2-2006 标准,拉伸速率为 5 mm/min;

弯曲性能测试:参照 GB/T 1449-2005 标准,测试速率为 2 mm/min;

冲击性能测试:参照 GB/T 1843-2008 标准,冲击能量为 5.5 J;

FESEM 分析:选取拉伸试样,在断面处进行喷金处理后用 FESEM 观察断面形貌;

XRD 分析:扫描范围 5°~30°,扫描速度 2°/min;

DSC 分析:取 10 mg 试样,在氮气氛围中,以 10℃/min 从 40℃升温至 200℃,保温 5 min,然后以 10℃/min 降温至 40℃,再以 10℃/min 升温至 200℃。

2 结果与讨论

2.1 CF 的表面改性

(1) FTIR 分析。

图 1 为 CF 氧化前后的 FTIR 谱图。由图 1 可知,CF 曲线中,3432 cm^{-1} 附近是纤维表面及空气中水的 O—H 伸缩振动峰,结合 1110 cm^{-1} 附近 C—O 单键的伸缩振动峰,可以说明 CF 表面存在—OH 基团,2924 cm^{-1} 与 2850 cm^{-1} 附近是—CH₂ 的伸缩振动双峰,1625 cm^{-1} 附近是 C=C 的伸缩振动峰。相应地, NCF 曲线中,3432 cm^{-1} 附近是纤维表面与空气中水的 O—H 伸缩振动峰,结合 1110 cm^{-1} 附近 C—O 单键的伸缩振动峰,证明 NCF 表面也存在—OH 基团,此外,在 1720 cm^{-1} 附近出现了一 COOH 的特征峰,证明 NCF 表面存在羧基基团。该红外图谱证明,经过硝酸氧化处理,CF 表面出现新的活性官能团羧基官能团,且从峰宽变化可以看出羟基官能团的增多。

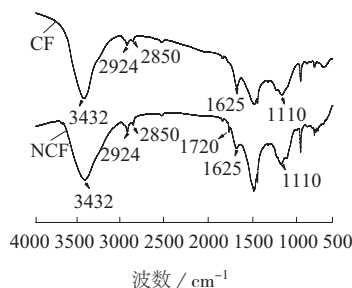
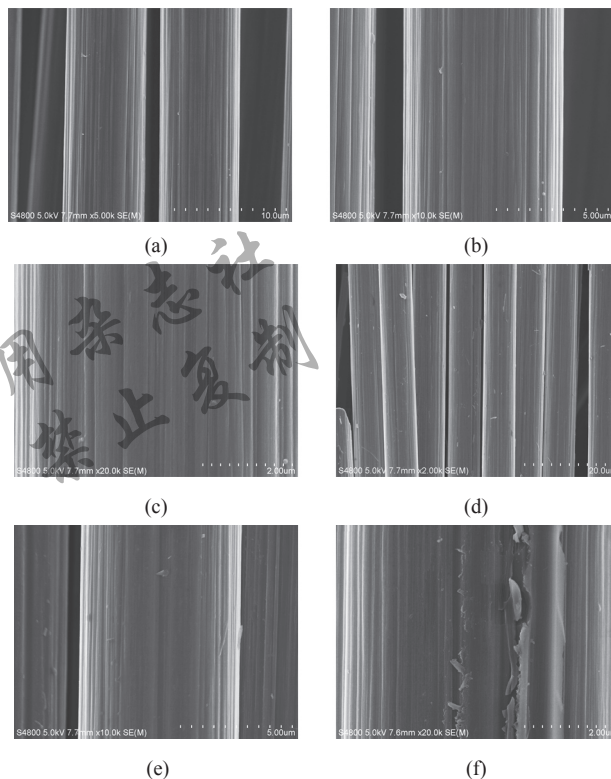


图 1 CF 氧化前后的 FTIR 谱图

(2) SEM 分析。

图 2a、图 2b、图 2c 为去浆后 CF 的表面形貌图,图 2d、图 2e、图 2f 为 NCF 的表面形貌图。从图中

可以看出,经过索氏提取器用丙酮萃取后,CF 表面光滑,纹路较浅,有微量上浆剂残留,这解释了未改性的纤维不能被基体树脂很好地浸润,以及当受到外力时易被拔出的原因;而经过表面酸化处理后,CF 表面粗糙,纹路加深,比表面积增大,个别地方出现了表面结构破坏的现象,这些现象佐证了硝酸对 CF 表面的氧化效果,且这些特征有利于增强纤维与基体分子链间的摩擦,使与基体的物理缠结作用力更强,形成的界面层性能更好。



a, b, c—CF (放大倍数: ×2K, ×10K, ×20K);
d, e, f—NCF (放大倍数: ×2K, ×10K, ×20K)

图 2 CF 表面形貌图

2.2 复合材料的力学性能

图 3 为不同纤维含量时 PP 复合材料的力学性能。由图 3 可知,材料的力学性能除断裂伸长率外,其余性能均随着 CF 含量的增加而上升,且 NCF 对 PP 基体的增强效果要优于未经表面处理的 CF。例如如图 3a 中,当 CF 含量为 15% 时,PP/NCF 的拉伸强度为 59.43 MPa,较 PP/CF 的拉伸强度 45.77 MPa 提升了 30%,较纯 PP 树脂的拉伸强度 30.94 MPa 提升了 92.1%。同时,还可以看出,当 CF 的含量低于 5% 或高于 20% 时,纤维对基体增强效果并不理想。这是因为,当 CF 含量过低,其在基体中不能形成骨架网络,使材料受外力作用时承受应力的主体仍是树脂基体本身,所以起不到明显的增

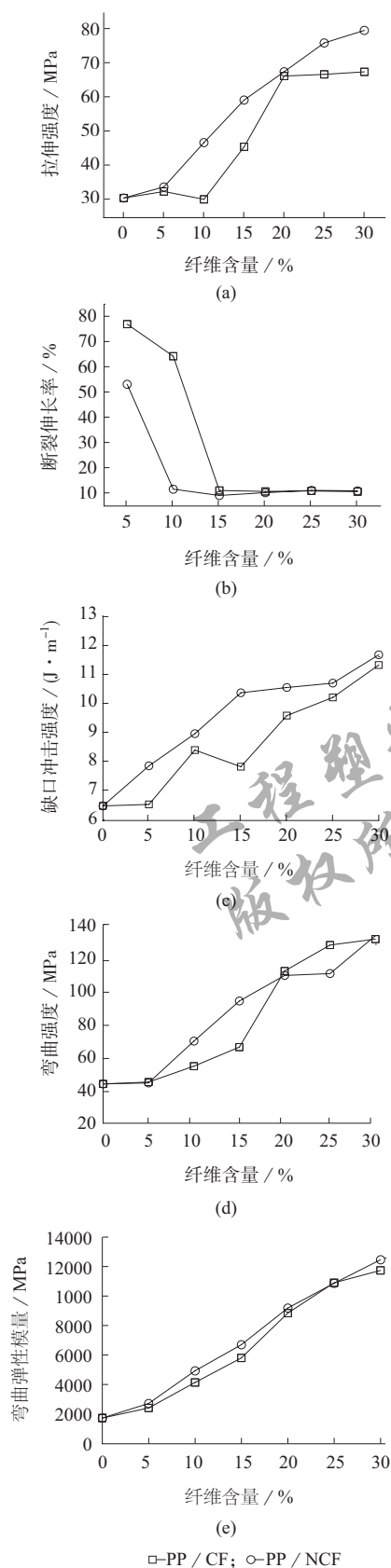


图3 不同纤维含量时PP复合材料的力学性能

强效果;而当含量过高时,又因为纤维在基体中出现集束现象,并没有更好的分散,降低了增强效率,整体性价比变差。

从图 3b 可以看出,随 CF 含量的增加材料的断裂伸长率显著减小,PP/CF 的减小速率低于 PP/NCF,但最终都维持在 10% 左右。这是因为随着 CF 含量的增加,材料逐渐体现出刚性特征,变得硬而脆,但未表面处理的 CF 表面光滑,与 PP 树脂形成的界面层性能较差,受外力作用时易从基体中拔出,因而 CF 含量较低时,材料仍体现出 PP 树脂本身高断裂伸长率的特征。

结合图 3d、图 3e 可以看出,CF 的加入对材料的弯曲性能提升显著,这主要是源自 CF 自身的高比模量的特点,当 CF 含量高于 20% 后,PP/CF 与 PP/NCF 对材料的增强效率下降,这是因为 CF 含量过高,一方面因为纤维集束在树脂基体中不能良好地分散,没有起到应有的增强效果,另一方面也因为含量对性能的影响效率下降。

综合考虑,可认为材料中纤维存在一个最优含量区间,最优含量区间为 10%~20%,在这个区间中,CF 能在基体中良好分散,对基体有较高的增强效率,且材料具有较高的性价比。

2.3 复合材料的加工性能

图 4 为 PP 及其复合材料的 MFR 分布图。随着材料中 NCF 和 CF 含量的增加,材料的 MFR 呈现两极分化的趋势,又在含量 25% 时迎来各自的反转折点。当纤维含量低 10% 时,两种纤维对材料的熔融流动性能影响并不大,这与之前的力学性能所反映的趋势类似,是因为纤维含量过低,复合材料仍主要体现出 PP 树脂的性能。当纤维含量高于 10%,PP/CF 的 MFR 迅速增高。这是因为未经改性的 CF 表面光滑,其与 PP 分子链的粘附力较小,容易与基体脱离,且其作为表面惰性的刚性无机填料阻碍了 PP 分子链间的缠结,减小了摩擦,使得材料快速流出, MFR 变大。而 PP/NCF 中, NCF 经过氧化改性,表面粗糙、活性高,与 PP 粘结力增大,当材料熔融流动时,纤维未完全脱离基体,增大了流动时的摩擦,使得材料流出速度减慢, MFR 变小。而当 CF 含量过高时基体中出现 CF 集束现象,致使 PP/CF 中 CF 因集束尺寸变大阻碍了材料流动,增大了摩擦,而对于 PP/NCF 来说,却使得纤维比表面积减小,与基体的粘附力被削弱,反而减小了摩擦。

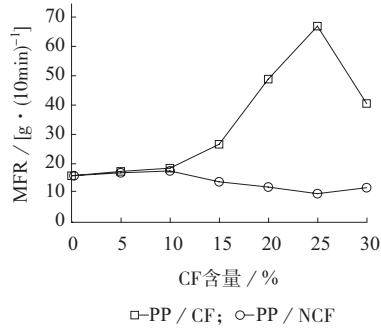


图4 不同纤维含量时PP复合材料的MFR

2.4 复合材料的结构与形貌

(1) DSC 分析。

表2为PP及不同PP/CF(NCF)材料的DSC分析数据。

表2 PP及不同PP/CF(NCF)的DSC分析数据

试样编号	$T_c / ^\circ\text{C}$	$T_m / ^\circ\text{C}$	$\Delta H_m / (\text{J} \cdot \text{g}^{-1})$	$X_c / \%$
1 [#]	119.73	157.89	94.78	45.77
4 [#]	122.80	154.51	48.36	27.47
8 [#]	123.34	157.93	69.74	35.45
10 [#]	123.27	153.30	62.39	35.44
12 [#]	124.20	153.33	49.17	31.66

注: T_c 为结晶峰温度值, T_m 为熔融起始温度值, ΔH_m 为材料的熔融焓变, X_c 为结晶度。

图5为PP及不同PP/CF(NCF)的DSC数据图。从图5中可以看出,随着CF的加入,材料的结晶峰与熔融峰变宽,结晶温度与熔融温度略微上升,说明纤维的加入会影响材料的热稳定性,这与前人的研究结论吻合^[12]。同时结合表2可看出,随着纤维含量的增加,材料的 T_c 与 T_m 逐渐升高,且NCF对材料的 T_c 与 T_m 影响更大。

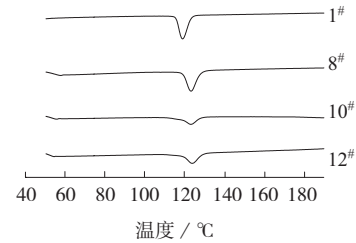
表2中的结晶度数据是根据数据与公式计算出来的^[13],公式如下:

$$X_c = \Delta H / \Delta H_{100\%} \times 100\% \quad (1)$$

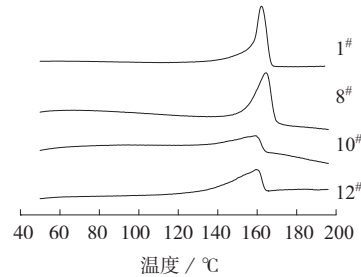
式中: X_c 为材料的结晶度; $\Delta H_{100\%}$ 为热平衡状态下物质100%结晶的熔融焓变,查表可得PP的 $\Delta H_{100\%}$ 为207.1 J/g; ΔH 为材料实际的熔融焓变。

另外,对于复合材料, $\Delta H_{100\%}$ 需乘以对应物质在材料中的质量比。由此算得结晶度见表2。

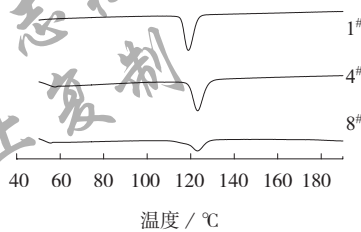
由表2可以看出,加入CF后,材料结晶度均下降。这可能是因为虽然CF的加入会在PP基体中因为异相成核机理使结晶速率加快^[14],但纤维在基体中的无定向分布同样会影响PP分子链的规整性,导致结晶度下降。同时可看出相同含量时,PP/NCF的结晶度高于PP/CF,这可能是因为改性后的NCF与PP的相容性更好,PP分子更易附着在



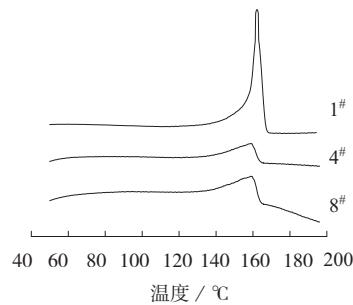
(a)



(b)



(c)



(d)

a, b—不同NCF含量时材料的结晶温度和熔融温度;
c, d—不同纤维(CF, NCF)时材料的结晶温度和熔融温度

图5 PP及不同PP/CF(NCF)复合材料的DSC图

NCF周围规整排列;此外,结合8[#], 10[#], 12[#]试样的 X_c 可以看出,纤维含量对材料结晶度的影响不大。图6中曲线为PP及不同的PP复合材料试样的XRD图,可以看出,各复合材料的X射线衍射峰相较于纯PP树脂并未发生明显位移,证明纤维的加入并没有引起PP结晶晶型的变化。

(2) SEM 分析。

图7为CF(NCF)含量为15%时PP复合材料拉伸试样断裂截面形貌图。

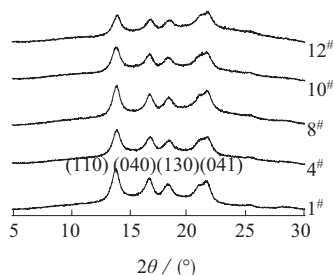
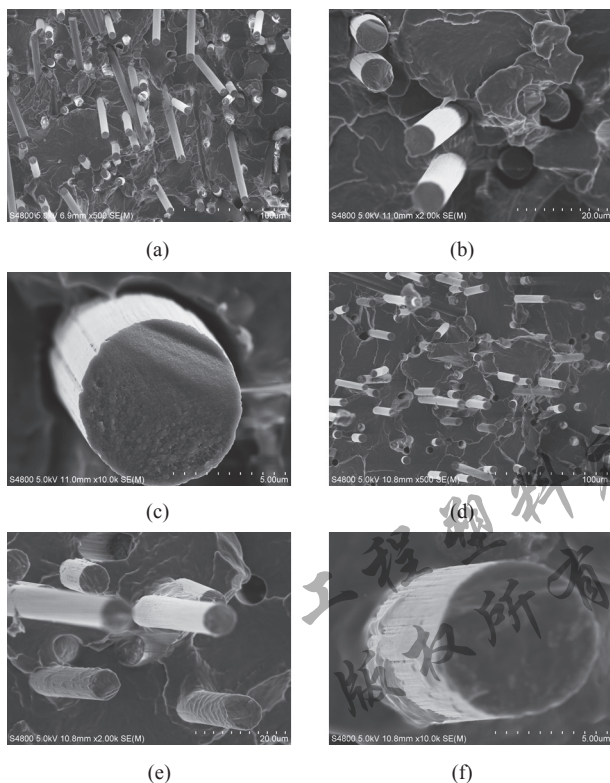


图6 PP复合材料的XRD曲线



a, b, c—PP/CF (放大倍数: $\times 500$, $\times 2K$, $\times 10K$);
d, e, f—PP/NCF (放大倍数: $\times 500$, $\times 2K$, $\times 10K$)

图7 PP复合材料拉伸试样断裂截面形貌图

纤维增强复合材料的增强机理是,当材料受外力作用时,树脂基体起传递分散应力的作用,使应力集中在增强材料上,由此提升材料的力学性能。由图7c可以看到,CF与基体树脂间出现明显缝隙,CF表面无树脂浸润且断面光洁,说明材料断裂时CF消耗的能量较小,与前文较低的拉伸性能相对应。这是因为在PP/CF复合材料受外力作用过程中,一开始基体树脂PP传递应力,使分布于CF上的机制可以正常运作,但随着应力逐渐增大,当大于基体树脂与CF界面层的结合力后,出现基体树脂与CF分离现象,导致CF拔出,而使承受应力的主体又变回树脂基体自身。而对比图7f,材料断裂时纤维与基体仍然结合紧密,纤维表面被树脂浸润良好,且纤维断面粗糙,这说明纤维/基体的界面层性能得到

了提升,在整个受力断裂过程中,纤维增强复合材料的机制正常运作,使PP/NCF材料表现出更优的力学性能^[15]。

结合图7a、图7b、图7d、图7e可以看出,无论是CF或NCF,在断裂时均存在纤维拔出现象,虽然NCF消耗了更多的能量而使其拔出长度普遍低于CF,但也表明了CF与PP树脂基体的界面层性能还有提升潜力。

3 结论

(1) 当纤维(CF或NCF)含量大于5%后,随其含量增加材料的拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量、缺口冲击强度等力学性能逐渐变好,断裂伸长率逐渐降低;其对材料的流动性能影响逐渐变大,对材料的熔融温度、结晶温度影响不大,降低了材料的结晶度。纤维存在一个最优含量区间(10%~20%),在这个区间中,CF能在基体中良好分散,对基体有较高的增强效率,且材料具有较高的性价比。

(2) 当CF经过氧化处理后,表面生成了羧基官能团以及更多的羟基官能团,表面变得粗糙,与基体的界面性能变好,使材料的拉伸强度、弯曲强度、弯曲模量、缺口冲击强度性能等力学性能进一步增强,结晶温度小幅升高、熔融温度小幅降低,结晶度较改性前升高,流动性能较PP改性前降低,对材料的晶型影响不大。

参考文献

- [1] 徐秋红,谭臻,闫焱,等.国内碳纤维增强热塑性复合材料研究进展[J].工程塑料应用,2014,42(7):122-126.
Xu QiuHong, Tan Zhen, Yan Ye, et al. Research progress on domestic carbon fiber reinforced thermoplastic composite[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(7):122-126.
- [2] 张茜英,刘明.碳纤维复合材料的发展及应用[J].工程塑料应用,2015,43(11):132-135.
Zhang Hanying, Liu Ming. Development and applications of carbon fiber reinforced polymer, engineering plastics application[J]. 2015, 43(11):132-135.
- [3] 刘强.碳纤维复合材料在航空航天领域的应用[J].科技与企业,2015(22):221.
Liu Qiang. Application of carbon fiber reinforced composites in Aerospace[J]. Science-Technology Enterprise, 2015(22):221.
- [4] 赵艳荣,胡平,梁继才,等.碳纤维复合材料在汽车工业中的应用[J].合成树脂及塑料,2015,32(5):95-98.
Zhao Yanrong, Hu Ping, Liang Jicai, et al. Application of carbon fiber composites in the automotive industry[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2015, 32(5):95-98.
- [5] 严淑芬.汽车用的碳纤维增强聚丙烯复合物[J].现代塑料加工

- 应用,2017(2):14-14.
- Yan Shufen. Carbon fiber reinforced polypropylene composites for automobiles[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2017(2):14-14.
- [6] 林志勇,曾汉民. 热塑性碳纤维复合材料界面研究[J]. 高分子通报,2004(5):56-61.
- Lin Zhiyong, Zeng Hanmin. Interphase in thermalplastic / carbon fiber composites[J]. Polymer Bulletin, 2004(5):56-61.
- [7] Karsli N G, Aytac A. Effects of maleated polypropylene on the morphology, thermal and mechanical properties of short carbon fiber reinforced polypropylene composites[J]. Materials & Design, 2011, 32(7):4 069-4 073.
- [8] 戈翔,田华峰,刘茜,等. 相容剂对聚丙烯 / 碳纤维复合材料性能的影响[J]. 塑料,2016, 45(1):4-6.
- Ge Xiang, Tian Huafeng, Liu Qian, et al. Effect of compatilizer on rheological and mechanical properties of polypropylene / carbon fiber composite[J]. Plastics, 2016, 45(1):4-6.
- [9] 姚明,刘志雷,周建萍,等. 碳纤维表面改性最新研究进展[J]. 材料导报,2012, 26(13):74-78.
- Yao Ming, Liu Zhilei, Zhou Jianping, et al. The latest research of carbon fiber's surface modification[J]. Materials Review, 2012, 26(13):74-78.
- [10] Sharma M, Gao S, Mäder E, et al. Carbon fiber surfaces and composite interphases[J]. Composites Science & Technology, 2014, 102(4):35-50.
- [11] Han Song Hee, Oh H J, Kim S S. Evaluation of fiber surface treatment on the interfacial behavior of carbon fiber-reinforced polypropylene composites[J]. Composites Part B, 2014, 60(4):98-105.
- [12] Tan J K, Kitano T, Hatakeyama T. Crystallization of carbon fibre reinforced polypropylene[J]. Journal of Materials Science, 1990, 25(7):3 380-3 384.
- [13] Matthias Wagner, 陆立明, 编. 热分析应用基础[M]. 上海: 东华大学出版社, 2011.
- Matthias Wagner, Lu Liming. Thermal analysis in practice[M]. Shanghai: Donghua University Press, 2011.
- [14] 李东明,王维,漆宗能. 碳纤维对聚丙烯结晶行为的影响[J]. 高分子学报, 1989, 1(3):304-309.
- Li Dongming, Wang Wei, Qi Zongneng. Effect of carbon fiber on crystallization behavior of polypropylene[J]. Acta Polymerica Sinica, 1989, 1(3):304-309.
- [15] 吴琼. 碳纤维表面改性及其增强尼龙 12 复合材料的研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2016:36-37.
- Wu Qiong. Study on the surface modification of carbon fibers and carbon fiber reinforced polyamide 12 composites[D]. Changsha: Hunan University, 2016:36-37.

欢迎订阅 2018 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘,请注明订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物,月刊,大 16 开本,每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊,是中国合成树脂供销协会会刊,荣获首届、第二届、第三届全国期刊奖等多项国家、省部级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2018 年定价 15 元/期,全年 180 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存,如需订阅,请联系杂志社。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物,双月刊,大 16 开本,单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊,荣获多项省部级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2018 年定价 15 元/期,全年 90 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存,如需订阅,请联系杂志社。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 杂志社已将《工程塑料应用》自创刊号(1973 年)至 2016 年底共 44 卷 326 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售;同时也将《化学分析计量》自创刊号(1992 年)至 2016 年底

共 25 卷 115 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售。合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文,又可根据读者自定义的关键词进行全文检索,非常方便、实用。《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 550 元;《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 250 元。

邮局汇款:

收款地址: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

账 号:1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.com>