

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.05.023

PE-UHMW/MWCNT 复合纤维的制备及性能研究^{*}

赵文静,麦永懿,张伟,叶纯麟,李志,沈贤婷

(上海市聚烯烃催化技术重点实验室,上海化工研究院,上海 200062)

摘要:对多壁碳纳米管(MWCNT)进行表面有机改性处理后,采用向纺丝溶剂中滴加纳米粒子悬浮液的混合方式,制备了超高分子量聚乙烯(PE-UHMW)/MWCNT复合纤维。通过紫外分光光度计、扫描电子显微镜、热台偏光显微镜分析了MWCNT在基体中的分散情况,并利用X射线衍射、力学性能测试、差示扫描量热分析、热重分析等测试方法对复合纤维的结构及性能进行了表征分析。结果表明,MWCNT分散良好的复合纤维,其力学性能得到了提升,耐热性和耐蠕变性也得到了不同程度的改善。

关键词:多壁碳纳米管;超高分子量聚乙烯;复合纤维;结构;性能

中图分类号:TQ342 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2014)05-0099-06

Fabrication and Properties of Ultra-high Molecular Weight Polyethylene Fiber Reinforced with Multi-walled Carbon Nano-tubes

Zhao Wenjing, Mai Yongyi, Zhang Wei, Ye Chunlin, Li Zhi, Shen Xianting

(Catalytic Technology Key Laboratory of Shanghai, Shanghai Research Institute of Chemical Industry, Shanghai 200062, China)

Abstract: Multi-walled carbon nano-tubes(MWCNT)/ultra-high molecular weight polyethylene(PE-UHMW) composite fiber was prepared through adding suspension of MWCNT modified with organic reagent drop by drop. The dispersion of MWCNT in polymer matrix was observed and analyzed by ultraviolet spectrophotometer, scanning electron microscopy, thermal platform microscope, and the properties of the composite fiber were characterized using x-ray diffraction, differential scanning caldrimetry, mechanics performance testing, thermogravimetric analysis. The experiment results show that the MWCNT/PE-UHMW fiber is improved in the performances such as mechanical properties, thermal stability and creep resistance.

Keywords: MWCNT; PE-UHMW; composite fiber; structure; property

超高分子量聚乙烯(PE-UHMW)纤维是以分子量为100万~500万甚至更高的粉状PE-UHMW树脂为原料,现主要采用凝胶纺丝法制成的。PE-UHMW纤维中的大分子具有高取向度并且呈伸直链结构,结晶度高,拥有独特的高强度和高弹性模量。同时又具有耐冲击、耐紫外光辐射、耐腐蚀、耐候、耐切割、电绝缘、质轻等优异性能,与碳纤维、芳纶纤维并称为当今世界三大高性能纤维^[1]。PE-UHMW纤维在国防安全、航空航天、体育用品等领域有着重要的应用^[2]。在民用工业领域作为抗冲击、减震材料及高性能轻质复合材料也有广阔的应用前景^[3-4]。尽管PE-UHMW纤维具有诸如上述的优异性能,但也存在一些不足,如压缩强度低、耐蠕变性能及耐热性差等缺陷^[5-7],当使用温度超过120℃时,分子链产生大幅度滑移,此时在受力状态下极易蠕变,限制了PE-UHMW纤维更广泛的应用。利用纳米粒子的各种物理效应^[8],制备聚合物

基纳米复合材料,以此改性聚合物材料的方法已有很多研究及应用。碳纳米管是一种独特的一维纳米材料,具有许多优异的性能,被认为是一种先进的复合材料增强体^[9-11],近几年引起了研究人员的广泛关注。笔者利用多壁碳纳米管(MWCNT)的纳米效应,将其优异的力学、化学性能等^[12]与PE-UHMW的韧性、加工性等糅合在一起,制备PE-UHMW/MWCNT复合纤维,改善PE-UHMW纤维的易蠕变、耐热性差等弱点,并提升纤维的力学性能。

1 实验部分

1.1 主要原料

PE-UHMW:黏均相对分子量为400万,上海联乐化工科技有限公司;

^{*}上海市经济和信息化委员会专项资金项目(12GA-26)

联系人:麦永懿,教授级高工,主要从事聚合物催化剂研发,超高分子量聚乙烯聚合、成型加工研究

收稿日期:2014-02-12

MWCNT: 直径 <8 nm, 长 0.5 ~ 2 μm , 比表面积 >500 m^2/g , 羟基含量 5.58%, 纯度 >95%, 南京先丰纳米材料科技有限公司;

硅烷偶联剂: KH550, 上海耀华化工厂;

丙酮: 分析纯, 市售;

白油: 7[#], 上海璐璐实业有限公司。

1.2 主要设备及仪器

磁力加热搅拌机: DF-101S 型, 予华仪器有限责任公司;

超声波乳化分散仪: HN-1800Y 型, 上海汉诺仪器有限公司;

捏合挤出机: HY-ZH-0.5L 型, 华宇机械厂;

纤维后纺设备: 自制;

紫外可见分光光度计: 751GD 型, 上海分析仪器总厂;

热台偏光显微镜 (POM): XPL-3230 型, 上海精密仪器仪表有限公司;

广角 X 射线衍射 (WAXD) 仪: D/max 2550V 型, 日本理学电机株式会社;

差示扫描量热 (DSC) 仪: STA449F3 型, 德国耐驰公司;

扫描电子显微镜 (SEM): NOVA Nano SEM450 型, 美国 FEI 公司;

电子万能试验机: CMT6104 型, 新三思计量技术有限公司;

热重 (TG) 分析仪: TG/DTA6300 型, 日本精工株式会社。

1.3 复合纤维的制备

向一定量的丙酮中加入氨水, 调节溶液的 pH 值为 9 ~ 10, 然后加入硅烷偶联剂 KH550, 使其浓度为 2.00%, 水解 10 min 后加入 MWCNT, 并超声分散 2 min, 待用。

将 PE-UHMW 及适量抗氧化剂与白油加入溶解釜中, 使 PE-UHMW 的浓度为 6.00%。恒温至 70℃ 下高速搅拌, 并以 1.5 mL/min 的速度不断滴加上述已处理的 MWCNT 丙酮悬浮液。滴加完毕后用超声波乳化分散仪分散 20 min, 然后将混合液重新转移至溶解釜, 135℃ 下高速搅拌使 PE-UHMW 溶胀。然后通过喷丝孔喷丝, 冷却, 萃取, 进行 60 倍的热拉伸, 得到成品 PE-UHMW/MWCNT 复合纤维。

1.4 MWCNT 在白油中的稳定性测试

向已用氨水调节 pH 值为 9 ~ 10 的丙酮中加入硅烷偶联剂 KH550, 使其浓度为 2.00%, 水

解 10 min 后加入 0.03 g MWCNT, 并超声分散 2 min, 得到悬浮液 a; 不加硅烷偶联剂, 其它条件与上相同, 制得悬浮液 b。高速搅拌下, 将 a, b 两种悬浮液滴加到恒温于 70℃ 下的 400 mL 白油中, 而后升温至 100℃, 将丙酮蒸馏出, 然后用超声波乳化分散仪分散 20 min, 分别得到悬浮液 A, B; 将 0.03 g MWCNT 粉末直接加入恒温于 100℃ 下的 400 mL 白油中, 并同样用超声波乳化分散仪分散 20 min, 得到悬浮液 C。将上述 A, B, C 三种悬浮液用紫外分光光度计进行透光率测试。

1.5 PE-UHMW/MWCNT 复合纤维的性能测试

(1) POM 测试。

将 PE-UHMW/MWCNT 复合凝胶制备成薄膜, 通过 POM 放大 600 倍观测纳米粒子分散情况。

(2) SEM 测试。

对不同 MWCNT 添加量的 PE-UHMW/MWCNT 复合冻胶原丝的截面喷金后进行 SEM 表征, 放大倍数均为 5000 倍。

(3) WAXD 测试。

对不同 MWCNT 添加量的 PE-UHMW/MWCNT 复合纤维在 3° ~ 50° 进行 WAXD 测试。

(4) 力学性能测试。

PE-UHMW/MWCNT 复合纤维的力学性能及蠕变性能按 GB 19975-2005 用电子万能试验机测试, 实验条件: 传感器 1000 N, 夹持距离 200 mm; 初负荷 $(0.05 \pm 0.01)\text{cN/dtex}$; 施加载荷为断裂载荷的 50%; 加载时间为 10 min。

(5) DSC 测试。

对不同 MWCNT 添加量的 PE-UHMW/MWCNT 复合纤维, 在 200 ~ 50℃ 范围内进行 DSC 恒速降温测试, 降温速率为 10℃/min。

(6) TG 测试。

用 TG 分析仪对不同 MWCNT 添加量的 PE-UHMW/MWCNT 复合纤维进行表征测试, 温度范围为 25 ~ 600℃; 样品质量 6 mg 左右; 氮气流量 20 mL/min; 速率为 10℃/min。

2 结果与讨论

2.1 纳米粒子在溶剂中的稳定性

对纳米粒子进行表面有机化改性是制备聚合物基纳米复合材料的关键^[13]。图 1 示出 MWCNT 在白油中的透光率随时间的变化曲线。由图 1 可以看出, 未经表面有机化改性处理且采用直接加入粉状 MWCNT 的方式的样品 C, 其透光率变化最快,

纳米粒子在 150 min 内基本全部沉淀下来;采用先分散成悬浮液后滴加方法的样品 B 的变化次之;经过表面有机化改性处理且采用滴加的方法所制得的样品 A 最慢。这表明表面有机化改性处理有助于改善 MWCNT 在白油中的分散性,羟基化 MWCNT 表面的一OH 与偶联剂反应^[14],使无机的纳米粒子表面接枝有机链段,增加了 MWCNT 与有机溶剂的相容性,提升了 MWCNT 在有机溶剂中的悬浮稳定性。

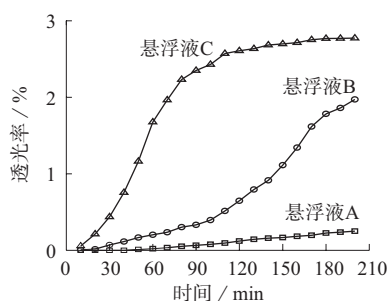
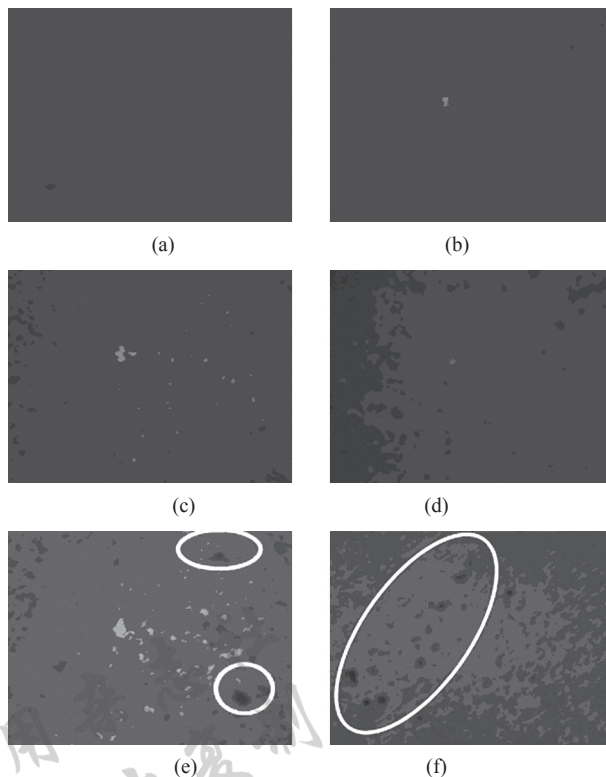


图1 MWCNT在白油中的透光率随时间的变化

同时,图1也表明首先在有机试剂中制备纳米粒子悬浮液后滴加的方法也有助于提升 MWCNT 在白油中的悬浮稳定性。与将纳米粒子表面有机化处理后以粉状与 PE-UHMW 树脂混合的方法^[15]相比,此种方法没有重新干燥及与 PE-UHMW 树脂粉体混合的步骤,避免了在这些过程中纳米粒子发生团聚的可能。

2.2 基体中纳米粒子的分散性

图2为不同 MWCNT 添加量的 PE-UHMW/MWCNT 复合薄膜的 POM 照片。从图2可以看出, MWCNT 质量分数小于 1.50% 时, MWCNT 在复合薄膜中呈均匀分散状态;当 MWCNT 质量分数为 2.00% 时出现大的黑点,表明此时已出现了团聚的现象;而 MWCNT 的质量分数为 3.00% 时,已有大量的团聚出现,且分散不均匀。均匀分散的纳米粒子具有极大的比表面积,使其与聚合物的相界面面积增大,易与基体发生物理、化学相互作用,促进纳米粒子与 PE-UHMW 树脂协同作用的发挥。而发生团聚时,破坏了树脂基体的连续性,而纳米粒子间的相互作用小,应力作用下颗粒间易于脱离,成为纤维的缺陷,将不利于纤维性能的提升。据上述分析结果可以推测出,当 MWCNT 质量分数为 2.00% 时复合纤维的力学性能可能会有所下降,当 MWCNT 质量分数为 3.00% 时复合纤维的力学性能下降程度会更大。

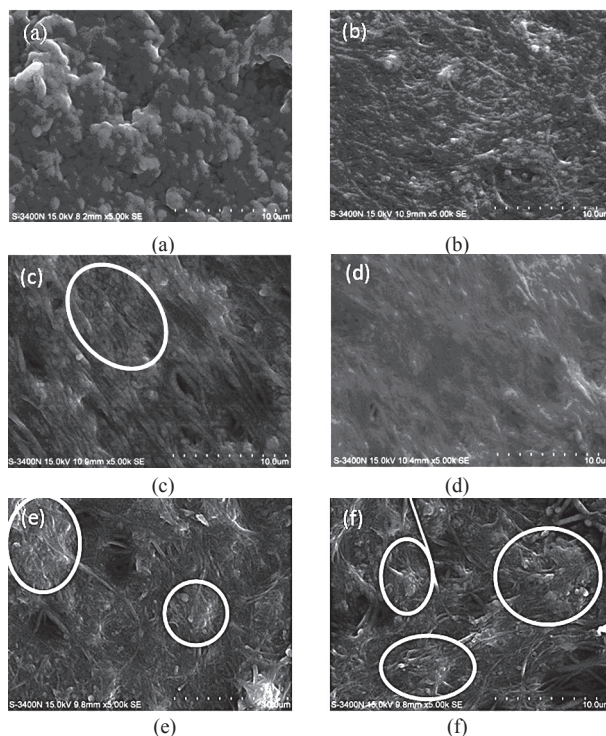


a—0; b—0.50%; c—1.00%; d—1.50%; e—2.00%; f—3.00%

图2 不同 MWCNT 添加量的复合薄膜的 POM 照片

2.3 复合纤维的形态结构

图3为不同 MWCNT 添加量的 PE-UHMW/MWCNT 复合冻胶原丝的 SEM 照片。从图3可以



a—0; b—0.50%; c—1.00%; d—1.50%; e—2.00%; f—3.00%

图3 不同 MWCNT 添加量的复合冻胶原丝的 SEM 照片

看出,萃取后的冻胶原丝中基体呈现很多的微纤,在微纤之间及微纤的节点处呈现出粘结的状态,这些粘结处为加入的 MWCNT。图 3b,3c,3d 显示复合冻胶原丝中基体与纳米粒子为均一相,没有纳米粒子团聚的现象。一维管状结构的 MWCNT 在冻胶原丝中更易随着这些由 PE-UHMW 分子链组成的微纤呈取向性排列,同时良好分散的功能化纳米粒子比表面积大,与 PE-UHMW 之间有强的相互作用,在受到外力的作用时,应力能够很好地在纳米粒子与基体之间传递,进而提升复合纤维的力学性能。当纳米粒子的质量分数增大到 1.50% 时,基体中呈现的粘结处更多,并且均匀分布,呈现均一状态,这表明纳米粒子分散良好。当纳米粒子质量分数增大到 2.00% 时,图 3e 出现了团聚现象,添加量增大到 3.00% 时,图 3f 中的团聚现象更加明显,此时两相界面明显,在受到外力时,界面易于剥离,不利于应力的传递,将表现为力学性能的降低。

2.4 结晶性能

(1) WAXD 表征。

图 4 为不同 MWCNT 添加量的 PE-UHMW / MWCNT 复合纤维的 WAXD 图谱。从图 4 可以看出,不同 MWCNT 添加量的复合纤维均出现了正交晶系在 $2\theta=21.5^\circ$ 左右的 (110) 晶面,和在 $2\theta=23.7^\circ$ 左右的 (200) 晶面特征衍射峰,这说明 MWCNT 纳米粒子的加入对纤维的结晶形态没有产生影响。

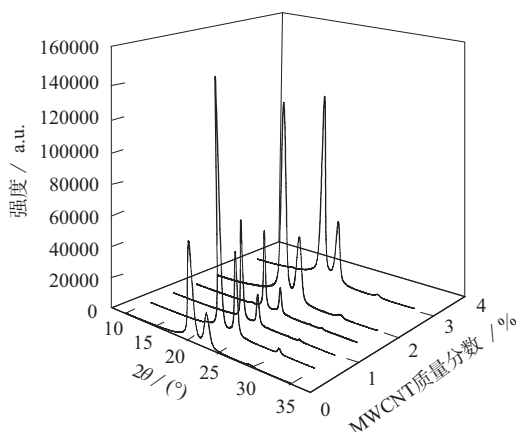


图 4 不同 MWCNT 添加量时复合纤维的 WAXD 图谱

根据所得 WAXD 图谱,计算复合纤维的结晶度和晶粒尺寸,结果如图 5 所示。从图 5 可以看出, MWCNT 的加入使纤维的结晶度增大,当 MWCNT 的质量分数为 1.50% 时结晶度达到最大,然后随着 MWCNT 含量的继续增加结晶度减小。当 MWCNT 的含量为 1.00% 时复合纤维中晶粒尺寸最小,而后

随着 MWCNT 的继续加入,晶粒尺寸略有增加。这可能是由于少量的 MWCNT 在 PE-UHMW 中的分散性较好,在纤维结晶过程中能够作为成核剂,诱导更快速地结晶,也就增大了结晶的速率,使最终形成的晶粒尺寸减小。当 MWCNT 质量分数小于 1.50% 时,随着其添加量的增大,晶粒尺寸减小,这可能是由于聚合物基体中成核剂含量增多,使更多晶粒结晶过程加快,也就有更多晶粒的尺寸降低,进而使最终的平均尺寸减小。当 MWCNT 的含量继续增大时,作为诱导结晶中心的成核剂逐渐达到饱和, MWCNT 作为成核剂的作用也不再继续增加,结晶度不再有较明显的升高。当 MWCNT 添加量继续增大时,产生团聚的纳米粒子破坏了聚合物基体的连续相,从而使得复合材料的结晶度减小。

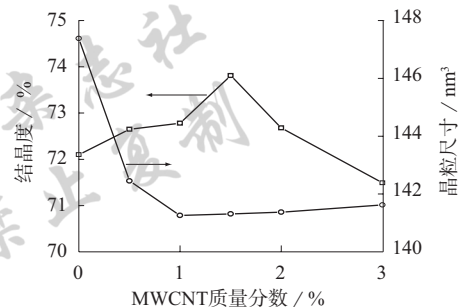


图 5 不同 MWCNT 添加量时复合纤维的结晶度和晶粒尺寸

(2) DSC 表征。

表 1 是不同 MWCNT 添加量时 PE-UHMW / MWCNT 复合纤维的结晶热焓。由表 1 可以看出,结晶热焓随 MWCNT 添加量按 0,3.00%,0.50%,1.00%,2.00%,1.50% 的顺序依次增大,这表明复合纤维的结晶度相应地依次增大,这与 XRD 测试结果相一致。

表 1 不同 MWCNT 添加量时复合纤维的结晶焓

MWCNT 质量分数 / %	结晶热焓 / (J · g ⁻¹)
0.00	-116.08
0.50	-145.59
1.00	-146.71
1.50	-153.23
2.00	-146.92
3.00	-127.52

图 6 示出不同 MWCNT 含量的 PE-UHMW / MWCNT 复合纤维的相对结晶度。从图 6 可以明显看出,温度从 122℃降到 110℃时,每种纤维的相对结晶度都在 70% 以上;同一温度下,纯 PE-UHMW 纤维的相对结晶度是最小的,表明其结晶速率是最小的,这是纳米粒子在复合纤维中起到成核剂的作用。

用,加快了结晶速率,促进了结晶进程的结果。在 122 ~ 110℃ 之间,同一温度下按 MWCNT 质量分数为 3.00%, 0.50%, 1.00%, 2.00%, 1.50% 的复合纤维的相对结晶度依次递增,即其结晶速率依次增大。纳米粒子的分散效果好,也就会更大程度地发挥纳米效应,更多的纳米粒子作为异相成核剂,更大程度地促进了结晶。当作为成核剂逐渐达到饱和时,纳米粒子作为成核剂提升结晶速率的作用不再继续增大,而当纳米粒子发生团聚时,不但不能发挥成核剂的作用,反而破坏了聚合物基体的连续性,阻碍 PE-UHMW 的结晶,使复合材料的结晶速率减小。

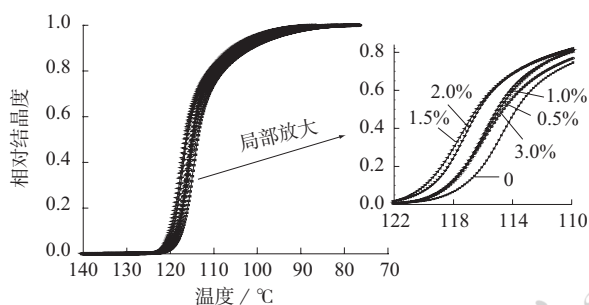


图 6 不同 MWCNT 含量的复合纤维的相对结晶度

2.5 力学性能及蠕变性能

表 2 示出不同 MWCNT 含量时 PE-UHMW / MWCNT 复合纤维的力学性能。由表 2 可看出,随着 MWCNT 含量的增加,复合纤维的断裂伸长率和蠕变率不断减小;添加功能化 MWCNT 使纤维的强度和弹性模量都有明显提升;并且当 MWCNT 的质量分数小于 1.50% 时,复合纤维的强度和弹性模量随功能化 MWCNT 添加量的增大而增大;但是当 MWCNT 质量分数大于 2.00% 时,力学性能随着添加量的增大而下降,并且断裂伸长率下降程度增加。同时,当 MWCNT 质量分数为 0.50% 时,经过表面有机化改性的纳米粒子的加入有助于纤维的力学性能提升,但未经过有机化改性处理的纳米粒子反而降低了纤维的力学性能。这是由于经过表面有机化改性的纳米粒子在有机基体中分散性好,粒子的比表面积增大,非配对原子增多,与基体树脂接触面增大,发生物理或化学结合的可能性也就增大,使 MWCNT 与 PE-UHMW 之间相互作用增强,达到一定的界面粘结强度,形成弹性界面相,在外力作用下应力就会得到有效传递,分子链间不易滑移且刚性的 MWCNT 弥补非结晶区缺陷,增大非结晶区可承载负荷,充分发挥无机刚性纳米粒子与 PE-UHMW 之间的协同作用,得到力学性能和耐蠕变性能增强

的复合纤维。而未改性的纳米粒子与 PE-UHMW 之间的相容性差,易发生团聚,同时,当纳米粒子添加量过多时,也易发生团聚,在基体内形成缺陷,作为应力集中点,引发脆性断裂,致使蠕变率下降。

表 2 不同 MWCNT 含量复合纤维的力学性能

MWCNT 质量分数 / %	MWCNT 是否表面处理	强度 / (cN · dtex ⁻¹)	弹性模量 / (cN · dtex ⁻¹)	断裂伸长率 / %	蠕变率 / %
0		27.98	927.23	3.55	5.37
0.50	否	24.49	800.50	3.53	4.81
0.50	是	28.89	991.80	3.54	4.06
1.00	是	30.59	1131.46	3.51	3.84
1.50	是	31.45	1011.32	3.46	3.52
2.00	是	29.29	997.73	3.38	2.45
3.00	是	25.32	816.30	3.05	2.05

2.6 耐热性能

图 7 是不同 MWCNT 含量的 PE-UHMW / MWCNT 复合纤维的 TG 曲线。从图 7 可以看出,加入 MWCNT 后纤维的耐热性能都有不同程度的提高。这是由于分散在基体中的 MWCNT 降低了非结晶区缺陷,热作用束缚了 PE-UHMW 分子链段的运动,从而提升了复合纤维的耐热性能。从图 7 还可以看出,同一温度下,纳米粒子质量分数为 0.50%, 3.00%, 1.00%, 1.50%, 2.00% 的复合纤维的热失重依次降低,表明其耐热性能依次升高,与通过上述表征分析的纳米粒子分散情况及 XRD 测试结晶度的结果不完全一致。这是因为一方面,与树脂基体接触良好的纳米粒子越多,就会更大程度地限制分子链段的运动,同时结晶度越大,非结晶区缺陷越少,进而更大程度地提升纤维的耐热性能;另一方面,在热失重过程中, MWCNT 本身良好的耐热性能起到了很大作用,表现出 MWCNT 含量越多复合纤维的耐热性能越好。两方面原因的作用,最终表现出以上耐热性能得到不同的结果。

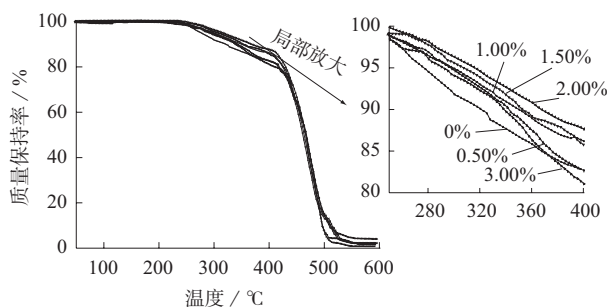


图 7 不同 MWCNT 含量的复合纤维的 TG 曲线

3 结论

(1) 表面有机化改性处理有助于 MWCNT 在白油中的分散;首先在有机试剂中制备功能化纳米粒

子悬浮液,然后向 PE-UHMW 溶剂中进行滴加的方法,有助于提升 MWCNT 在白油中的悬浮稳定性。

(2) 添加一定量的功能化 MWCNT 有助于提升 PE-UHMW 纤维的性能,且一定范围内 MWCNT 添加量越多,纤维的力学性能、耐热性能及耐蠕变性能提升越高;但当 MWCNT 添加量过多时,易发生团聚,不利于纤维性能的提升。

(3) 有良好分散性的 MWCNT 有助于增大复合纤维的结晶度,降低晶粒尺寸,减少非结晶区缺陷,提升纤维的力学性能。同时,其本身的刚性、热稳定性有助于提升纤维的耐蠕变性与耐热性。

参考文献

- [1] 毛云增,蔡正国,杨曙光. 超高分子量聚乙烯纤维研究进展 [J]. 中国材料进展,2012,31(10):37-20.
Mao Yunzeng, Cai Zhengguo, Yang Shuguang. Progress in the research of ultra high molecular weight polyethylene fiber[J]. Materials China,2012,31(10):37-20.
- [2] 李涛. 国内外超高分子量聚乙烯纤维的开发应用进展 [J]. 合成纤维,2007(8):26-28.
Li Tao. Progress on the development and application of UHMWPE fiber[J]. Synthetic Fiber,2007(8):26-28.
- [3] 杨年慈. 超高分子量聚乙烯纤维:第一讲. 超高分子量聚乙烯纤维发展概况 [J]. 合成纤维工业,1991,14(2):48-54.
Yang Nianci. UHMW-PE fiber (I)-Brief introduction of the development of UHMW-PE fiber [J]. Synthetic Fiber Industry, 1991,14(2):48-54.
- [4] Cummings C S, Lucas E M, Marro J A, et. al. The effects of proton radiation on UHMWPE material properties for space flight and medical applications[J]. Advances in Space Research,2011, 48:1 572-1 577.
- [5] 苏荣锦,黄安民. 超高分子量聚乙烯改性研究进展 [J]. 塑料科技, 2010,38(6):93-97.
Su Rongjin, Huang Anmin. Progress in modification of ultra high molecular weight polyethylene[J]. Plastic Science and Technology, 2010,38(6):93-97.
- [6] 罗玉梅,周勇,梁兵. 超高分子量聚乙烯的改性研究 [J]. 工程塑料应用,2010,38(6):17-20.
Luo Yumei, Zhou Yong, Liang Bing. Study on the modification of UHMWPE[J]. Engineering Plastics Application,2010,38(6):17-20.
- [7] Ruan Shilun, Gao Ping, Yu T X. Ultra-strong gel-spun UHMWPE fibers reinforced using multiwalled carbon nanotubes[J]. Polymer, 2006,47:1 604-1 611.
- [8] 张立德. 纳米材料 [M]. 北京:化学工业出版社,2000:39.
Zhang Lide. Nanomaterials[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2000:39.
- [9] Byrne M T, Gunko Y K. Recent advances in research on carbon nanotube polymer composites[J]. Advanced Materials, 2010(22):1 672-1 688.
- [10] Chen Haiyan, Jacobs O, Wu Wei. Effect of dispersion method on tribological properties of carbon nanotube reinforced epoxy resin composites[J]. Polymer,2007(26):351-360.
- [11] Paglicawan M A, Kim J K, Bang D S. Dispersion of multiwalled carbon nanotubes in thermoplastic elastomer gels:Morphological, rheological, and electrical properties[J]. Polymer Composites, 2010,31(2):210-217.
- [12] Su Dangsheng. 20 years of carbon nanotubes [J]. Chem Sus Chem,2011(4):811.
- [13] Tai Yanlong, Qian Jiasheng, Zhang Yuchuan, et al. Study of surface modification of nano-SiO₂ with macromolecular coupling agent(LMPB-g-MAH)[J]. Chemical Engineering Journal,2008, 141:345-361.
- [14] 高红云,张招贵. 硅烷偶联剂的偶联机理及研究现状 [J]. 江西化工,2003(2):30-34.
Gao Hongyun, Zhang Zhaogui. The linking mechanism and research situation of silane coupling agent[J]. Jiangxi Chemical Industry,2003(2):30-34.
- [15] Wang Yanping, Cheng Ruiling, Liang Linli. Study on the preparation and characterization of ultra-high molecular weight polyethylene-carbon nanotubes composite fiber[J]. Composites Science and Technology,2005,65:793-797.

Sabic 拉伸膜助力饮料包装市场

沙特石化巨头 Sabic 日前成功研发出一款以聚丙烯 (PP)、线性低密度聚乙烯 (PE-LLD) 为材料生产而成的拉伸薄膜。据悉,该拉伸膜是 Sabic 为饮料市场精心打造的,旨在降低饮料在运输过程中的损耗。

Sabic 方面表示,与传统薄膜相比,该新型拉伸膜能够提供更好的负载稳定性,具有更高的透明清晰度,使得饮料产品的条形码在托盘中就能够直接被扫描。

“我们很高兴能为饮料界的广大客户带来新型解决方案。Sabic 新推的 PP 及 PE-LLD 混合拉伸膜能够最大限

度减轻饮料在储存和运输过程中所受的损害。该薄膜在产品清晰度、耐冲击性以及层次厚薄方面相互呼应,达到了前所未有的统一。” Sabic PE-LLD 业务部技术营销总监 Lucio Baccaro 说道。

公司 PE-LLD 业务部总经理 Frankde Vries 补充道:“Sabic 在欧洲薄膜市场上一直处于领导者的地位。多年来,我们一直致力于推广 PP, PE-HD, PE 及 PE-LLD 树脂在除塑料行业以外其它市场上的应用。目前,公司这些树脂的业务范围已扩展到食品包装、饮料、工业、农业、医疗等领域。”

(中塑在线)