

纳米 SiO₂ 改性超高分子量聚乙烯纤维的制备及其结构性能研究*

于俊荣** 栾秀娜 胡祖明 刘兆峰

(东华大学纤维材料改性国家重点实验室 上海 200051)

摘 要 采用萃取阶段加入纳米粒子的方式,制得纳米 SiO₂ 改性的超高分子量聚乙烯(UHMWPE)纤维.借助于扫描电镜、声速法、WAXD、DSC、TMA 和强力测试等手段,研究了纳米 SiO₂ 对 UHMWPE 纤维结构和性能的影响.结果表明,纳米 SiO₂ 粒子在 UHMWPE 纤维中可达到均匀分散,分散尺寸约为 50~100 nm;改性后纤维取向度、结晶度基本不变,纤维横向晶粒尺寸大大降低,纤维力学强度稍有增加,力学模量大大增加(由 1359.2 cN/dtex 增加到 1505.9 cN/dtex),同时,纤维热性能和热力学性能也得到大大改善.

关键词 UHMWPE 纤维, 纳米 SiO₂, 结构, 性能

纳米粒子由于具有特殊的表面效应、体积效应、量子尺寸效应及宏观量子隧道效应,与高分子之间可产生强烈的物理作用和化学作用^[1].因此,将无机纳米粒子填充于聚合物中,可对聚合物产生显著的增强、增韧作用.以纳米无机粒子为增强填料制备复合材料的研究报道很多^[2-4],但大多只限于对工程塑料的增强增韧研究.而对化学纤维的增强增韧改性,特别是对超高分子量聚乙烯(UHMWPE)纤维的增强增韧改性研究,报道较少.

近年来,UHMWPE 纤维已被广泛应用于防弹领域.用纳米 SiO₂ 粒子对 UHMWPE 纤维进行增强增韧改性,会进一步提高其防弹制品的抗冲击能力.本论文采用较为简便的方式,制得纳米 SiO₂ 均匀分散的 UHMWPE 纤维,研究了拉伸过程中 UHMWPE 纤维结构性能变化,探讨了纳米 SiO₂ 对 UHMWPE 纤维的改性机理.

1 实验部分

1.1 主要原料及试剂

UHMWPE 树脂,重均分子量为 1.70×10^6 ,北京助剂二厂;矿物油,初馏程为 390℃ 左右,杭州炼油厂;纳米 SiO₂,平均粒径为 40~50 nm,江苏海纳纳米材料厂;二甲苯,分析纯,上海试剂一厂.

1.2 纳米 SiO₂ 均匀分散 UHMWPE 纤维的制备

将 UHMWPE 和矿物油加入到溶解釜中,使聚合物的浓度为 4 wt%,加入适量抗氧化剂,经过高温溶胀、溶解后制成半稀溶液,然后经过脱泡、喷丝

头挤出,进入凝固浴骤冷成冻胶纤维,放入盛丝桶内进行相分离.

将纳米 SiO₂ 加入到二甲苯中,在 SB3200 型超声波清洗器中分散 30 min 后制得复合萃取液,控制纳米 SiO₂ 在二甲苯中的浓度为 1 wt%.将充分相分离后的 UHMWPE 冻胶纤维,在浴比为 20 mL/g 纤维的二甲苯中超声萃取 3 min,再在浴比为 20 mL/g 纤维的二甲苯或复合萃取液中超声萃取 3 min,然后张紧干燥,随后进行三级热拉伸制得纤维样品.经测试,此法所得 UHMWPE 纤维中纳米 SiO₂ 含量约为 0.7% 左右.

1.3 纤维结构性能测试

1.3.1 扫描电子显微镜测试 将萃取干燥后冻胶纤维冷拉伸约 10 倍以消除纤维内的大微孔,然后张紧切断后制得纤维横向断面,喷金后采用日本 JSM-5600LV 型高低真空扫描电子显微镜(SEM),观察纤维截面形态结构并拍照.

1.3.2 纤维取向度的测定 采用东华大学产 SOT-II 型声速取向仪,对纤维施加以 0.098 cN/dtex 的张力,用倍长法计算声速值并求出声速取向因子 f_s ^[5].

1.3.3 纤维结晶度和晶粒尺寸的测定 采用日本理学 D/MAX-RB 型 X 射线衍射仪,发生管压 40 kV,电流 30 mA,Cu 靶,采用粉末法在 2θ 角为 10~30° 范围内进行扫描,扫描速度为 8°/min,经计算机分峰处理后用称重法求得各样品的结晶度,并由 Scherrer 公式计算求得各晶面法线方向晶粒

* 2004-06-09 收稿,2004-07-29 修稿;上海市青年科技启明星计划项目(项目号 03QF14001)、上海高校优秀青年教师后备人选科研项目(2003);** 通讯联系人,E-mail: yjr@dhu.edu.cn

的平均尺寸^[5]。

1.3.4 纤维热性能测定 采用美国 Perkin-Elmer 公司 DSC7 型差示扫描量热仪,取样 2 mg 左右,氮气保护下,以 20 K/min 速度升温至 170℃,并保持 3 min 以消除热历史,然后以 20 K/min 的速度冷却至室温,得到纤维升温 and 降温的 DSC 曲线。

1.3.5 纤维力学性能的测定 采用上海化工机械四厂产 DXLL-20000A 型电子拉力机,纤维夹距为 500 mm,拉伸速度为 250 mm/min。样品测试 5 次,取平均,得纤维力学强度 σ ,杨氏模量 E 和断裂伸长 ϵ 。

1.3.6 纤维热机械性能测试 采用美国 Perkin-Elmer 公司 DMA7 型动态热机械分析仪对纤维进行热机械分析,纤维夹距约为 1 cm 左右,纤维预张力为 0.005 N,以 5 K/min 的升温速度从室温升到 160℃,测试升温过程中纤维尺寸的变化。

2 结果与讨论

2.1 纳米 SiO₂ 在 UHMWPE 冻胶纤维中的分散

由于 UHMWPE 冻胶纤维具有疏松的大网络结构^[6],而冻胶纤维的萃取机理为纤维溶剂与萃取剂之间的双扩散,因此若将纳米粒子均匀分散于萃取剂中,随着双扩散的进行纳米粒子也可以扩散进入 UHMWPE 冻胶纤维的网络内。

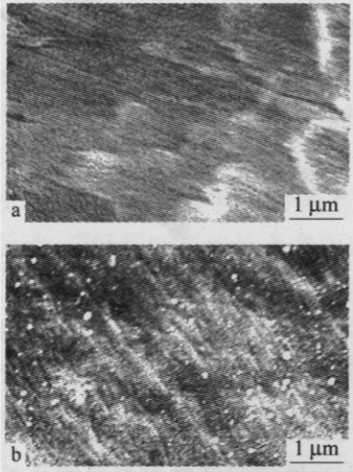


Fig. 1 SEM photographs of the cross-section of UHMWPE gel fiber
a) Virgin UHMWPE fiber;b) UHMWPE/nano-SiO₂ composite fiber

图 1(a)为 UHMWPE 冻胶纤维在纯二甲苯中萃取干燥所得纤维的截面 SEM 照片,纤维截面结构均匀,只清晰可见刀片切割纤维时的划痕。图 1(b)为冻胶纤维在分散有纳米 SiO₂ 的萃取液中萃

取干燥所得纤维的截面照片,纤维截面上出现了许多较为明显的圆形粒子,表明纳米 SiO₂ 扩散进入了 UHMWPE 冻胶纤维内,并且由图还可以明显的看出纳米 SiO₂ 在冻胶纤维内分散比较均匀,分散尺寸约为 50~100 nm。

2.2 纳米 SiO₂ 对纤维取向度的影响

表 1 为改性前后 UHMWPE 纤维声速取向因子 f_s 随拉伸倍数的变化。随着拉伸的进行,纤维大分子迅速沿拉伸方向取向排列,纤维 f_s 迅速增大。纳米粒子改性前后纤维样品的取向度相差不大,只是高倍拉伸后改性纤维的取向度要比未改性纤维的略小,这可能是因为纤维中的纳米 SiO₂ 粒子与聚乙烯大分子之间的强烈相互作用,阻碍了纤维分子随拉伸进行的取向运动所造成的。

Table 1 The sonic orientation (f_s) of virgin and nano-composite fibers with different draw ratios

Draw ratio	Virgin UHMWPE fiber	UHMWPE/nano-SiO ₂ composite fiber
0	0.147	0.145
18	0.585	0.601
42	0.812	0.803
50	0.998	0.994

2.3 纳米 SiO₂ 对纤维结晶度及晶粒尺寸的影响

由各纤维样品的 WAXD 图谱,经分析处理得拉伸过程中纤维的结晶度及晶粒尺寸变化见表 2 和表 3。

Table 2 The crystallinity (%) of virgin and nano-composite fibers with different draw ratios

Draw ratio	Virgin UHMWPE fiber	UHMWPE/nano-SiO ₂ composite fiber
0	45.3	45.2
18	57.5	58.0
42	59.2	59.0
50	62.2	62.3

Table 3 The crystal size of virgin and nano-composite fibers with different draw ratios

Draw ratio	Virgin UHMWPE fiber		UHMWPE/nano-SiO ₂ composite fiber	
	$L_{[110]}$ (nm)	$L_{[200]}$ (nm)	$L_{[110]}$ (nm)	$L_{[200]}$ (nm)
0	11.8	13.9	11.5	12.7
18	10.4	11.6	8.8	9.1
42	8.6	9.1	6.9	7.7
50	7.6	8.3	6.7	6.7

由于聚乙烯大分子链柔顺性极好,极易结晶,在纺丝原液经喷丝孔喷出后的骤冷过程中已产生了大量的结晶,经萃取干燥后的冻胶纤维已经具

有相当高的结晶度(见表 2).随着拉伸的进行,纤维的结晶度逐渐增大,这说明拉伸可诱导纤维大分子的进一步结晶,即在拉伸应力的作用下,纤维非晶区中的大分子链段逐渐砌入晶格,使纤维的结晶度大大增加.

表 3 是各纤维样品[110]晶面和[200]晶面法线方向晶粒的平均尺寸,该晶粒尺寸反映的是晶胞 a、b 轴组成平面内的“横向晶粒尺寸”.从表中的数据可以看出,纤维横向晶粒平均尺寸随拉伸倍数的提高而下降.晶粒尺寸的这一变化一方面是由于垂直于拉伸方向的晶粒在拉伸初期要沿拉伸方向倾斜直至破裂;另一方面随着拉伸的进行,晶粒亦要自我紧密完善,因此其横向表观尺寸要下降.

由表 2 和表 3 还可以看出,加入纳米 SiO₂ 后纤维结晶度基本没有变化,而纤维晶粒尺寸却下降很多.对于 UHMWPE 冻胶纤维,大量结晶已在纺丝骤冷过程中形成,在随后的萃取、干燥过程中,随萃取过程纤维中溶剂逐渐被萃取剂所代替及干燥过程中萃取剂的挥发,纤维会发生一定程度的收缩,从而会产生进一步的结晶^[6].在萃取阶段加入纳米 SiO₂,在萃取、干燥和拉伸过程中,一方面部分纳米 SiO₂ 粒子可作为结晶晶核,对纤维的进一步结晶起到促进作用,另一方面,纳米 SiO₂ 粒子与聚乙烯大分子间具有强烈相互作用,又限制了大分子进一步砌入晶格的运动,两方面双重作用使纳米粒子改性前后纤维结晶度基本不变.并且也正是由于纳米 SiO₂ 粒子在纤维的进一步结晶过程中起到了结晶晶核的作用,在纤维中形成许多小的结晶晶粒,从而使纳米粒子改性纤维的晶粒平均尺寸较未改性纤维有较大幅度减小.

2.4 纳米 SiO₂ 对纤维热性能的影响

图 2 为 UHMWPE 纤维熔点随拉伸倍数的变化.随拉伸倍数的增大,纤维的熔点大大提高,这是因为拉伸过程中纤维结晶度逐渐变大,结晶结构也逐渐变的紧密规整(见表 2、3)所致.

由图 2 还可以明显看出,添加纳米 SiO₂ 粒子对 UHMWPE 干冻胶纤维的熔点基本没有影响.但是随着拉伸的进行,纳米 SiO₂ 改性纤维的熔点急剧增加,且在拉伸的任何阶段,改性纤维的熔点均比未改性纤维的要高,这说明纳米 SiO₂ 粒子作为拉伸诱导结晶的晶核,并与聚乙烯大分子有强烈的相互作用,起到了类似交联点的作用,限制了聚

乙烯大分子的熔融,使纤维熔点比未改性纤维有较大增加.

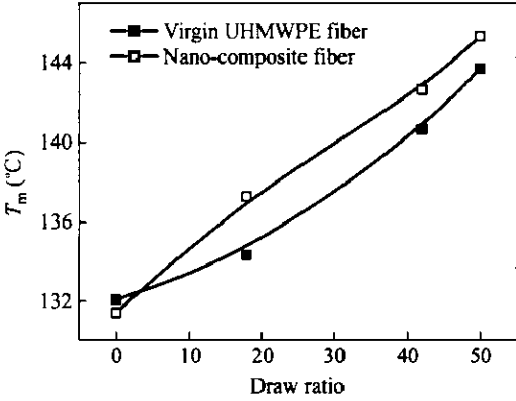


Fig. 2 Melting temperature of UHMWPE fibers with different draw ratio

图 3 为纯 UHMWPE 纤维和纳米 SiO₂ 改性纤维熔融后的降温 DSC 图谱,该图谱反映了纤维熔融之后的再结晶过程.可以看出,纳米 SiO₂ 改性纤维样品的结晶温度明显高于未改性纤维,说明前者的结晶过程是在较高的温度下就开始并完成.尤其从结晶峰的半高宽可发现,前者的结晶速度明显快于后者.这是因为纳米粒子在体系中起到了结晶成核剂的作用^[7-9],从而诱发聚乙烯大分子在较高的温度下进行结晶,并且使其结晶速度有较大提高.

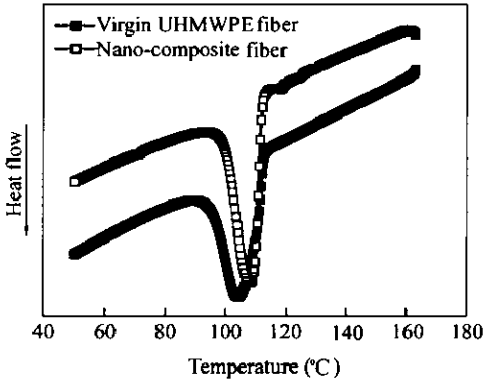


Fig. 3 DSC crystallization curves of virgin and composite fibers

2.5 纳米 SiO₂ 对纤维力学性能的影响

表 4 为改性前后纤维力学性能及其变异系数随拉伸倍数的变化.由表 4 可以看出,随拉伸倍数的增加,纤维的力学强度和模量急剧增加,而纤维的断裂伸长逐渐减小.同未改性的纤维相比,纳米 SiO₂ 改性纤维的强度稍有增加,而纤维模量得到很大提高,经三级拉伸后纤维模量提高了 10% 左右.通常由材料模量来代表材料的韧性大小,由

此,纳米 SiO₂ 粒子对 UHMWPE 纤维有很强的增 韧作用.

Table 4 Mechanical properties and coefficient of variation (CV) of virgin and nano-composite fibers with different draw ratios

Draw ratio	Virgin UHMWPE fiber			UHMWPE/nano-SiO ₂ composite fiber		
	σ (cN/dtex)/CV(%)	E (cN/dtex)/CV(%)	ϵ (%)/CV(%)	σ (cN/dtex)/CV(%)	E (cN/dtex)/CV(%)	ϵ (%)/CV(%)
0	2.1/8.5	88.6/7.9	1398.7/9.1	2.4/9.0	89.5/7.3	1454.6/7.1
18	12.6/6.4	689.5/6.9	5.7/8.5	13.2/6.3	712.9/5.4	6.4/6.9
42	26.3/5.1	1203.6/7.1	4.1/7.8	27.5/6.2	1356.5/6.8	3.5/8.1
50	30.6/5.5	1359.2/5.9	3.6/6.3	31.7/4.9	1505.9/6.3	3.3/6.4

σ : Tensile strength; E : Tensile modulus; ϵ : Elongation at break

欧玉春认为^[10],当无机纳米粒子均匀而个别的分散在聚合物基体中时,会对基体产生明显的增韧效果.本实验中采用萃取阶段加入纳米 SiO₂ 的方法所制得的纳米粒子改性 UHMWPE 纤维,纳米 SiO₂ 粒子在纤维中达到了纳米级分散(见图 1b).当纤维受拉伸时,由于无机纳米粒子的存在产生应力集中效应,易激发周围基体产生微裂纹(银纹),同时粒子之间的基体也产生屈服^[11],吸收一定变形功.纤维中一定量纳米粒子所导致的银纹化和屈服形变可吸收大量变形功,对纤维产生较强的增韧作用.同时无机纳米粒子的存在会使基体裂纹扩展受阻和钝化,最终终止裂纹,不至发展为破坏性开裂导致纤维拉伸断裂,并且纳米粒子与聚乙烯大分子间有强烈相互作用,起到了类似交联点的作用,则纳米粒子对 UHMWPE 纤维起到了一定的增强作用.另外,由前述 WAXD 分析可知,纳米 SiO₂ 改性后纤维的晶粒平均尺寸显著减小(见表 3),也有利于纤维模量的提高.

从表 4 还可以看出,高倍拉伸后,纳米 SiO₂ 改性 UHMWPE 纤维的断裂伸长比纯 UHMWPE 纤维的要小,由此可推断纳米 SiO₂ 粒子在纤维中确实起到了交联点的作用,限制了纤维大分子间的拉伸滑移运动,使纤维断裂伸长率有所减小.

2.6 纳米 SiO₂ 对纤维热机械性能的影响

图 4 是 3 级拉伸所得纯 UHMWPE 纤维和纳米 SiO₂ 改性纤维的 TMA 图谱.可以看出,在应力作用下的升温过程中,纯 UHMWPE 纤维有所伸长,至 140℃左右受热断裂,而纳米粒子改性纤维有所收缩,至较高温度 144℃左右才受热断裂.由于超拉伸后纤维大分子沿纤维轴向高度取向(见表 1),受热后纤维会发生解取向使纤维收缩,而

一定应力作用下纤维大分子间会发生滑移使纤维伸长.对纯 UHMWPE 纤维来说,受热过程中应力导致大分子间滑移的倾向占据优势,而对于纳米 SiO₂ 改性纤维,由于纳米粒子在纤维中起到了类似交联点的作用,限制了大分子间的滑移,因此收缩倾向占据优势.并且也正是纳米 SiO₂ 粒子的交联作用,使纤维在较高的温度下才受热断裂.这一结果与纤维 DSC 测试的结果相一致.由此可以说明,纳米 SiO₂ 粒子的加入,大大改善了 UHMWPE 纤维的热力学性能.

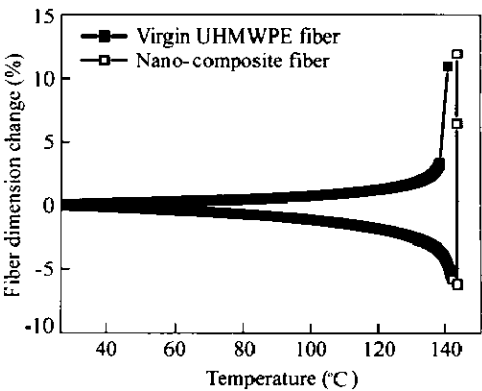


Fig. 4 TMA curves of virgin and nano-composite UHMWPE fibers

综上所述,本文通过在冻胶纤维萃取阶段加入纳米粒子,然后经过多级热拉伸,制得了纳米 SiO₂ 改性的 UHMWPE 纤维,且纳米 SiO₂ 粒子在纤维中可达到纳米级均匀分散.纳米 SiO₂ 粒子对 UHMWPE 纤维具有明显的增强增韧作用,特别是纤维的力学模量,提高了 10% 左右.同时,纤维热性能和热力学性能也得到大大改善,从而可在一定程度上拓宽 UHMWPE 纤维的应用领域.

此,纳米 SiO₂ 粒子对 UHMWPE 纤维有很强的增 韧作用.

Table 4 Mechanical properties and coefficient of variation (CV) of virgin and nano-composite fibers with different draw ratios

Draw ratio	Virgin UHMWPE fiber			UHMWPE/nano-SiO ₂ composite fiber		
	σ (cN/dtex)/CV(%)	E (cN/dtex)/CV(%)	ϵ (%)/CV(%)	σ (cN/dtex)/CV(%)	E (cN/dtex)/CV(%)	ϵ (%)/CV(%)
0	2.1/8.5	88.6/7.9	1398.7/9.1	2.4/9.0	89.5/7.3	1454.6/7.1
18	12.6/6.4	689.5/6.9	5.7/8.5	13.2/6.3	712.9/5.4	6.4/6.9
42	26.3/5.1	1203.6/7.1	4.1/7.8	27.5/6.2	1356.5/6.8	3.5/8.1
50	30.6/5.5	1359.2/5.9	3.6/6.3	31.7/4.9	1505.9/6.3	3.3/6.4

σ : Tensile strength; E : Tensile modulus; ϵ : Elongation at break

欧玉春认为^[10],当无机纳米粒子均匀而个别的分散在聚合物基体中时,会对基体产生明显的增韧效果.本实验中采用萃取阶段加入纳米 SiO₂ 的方法所制得的纳米粒子改性 UHMWPE 纤维,纳米 SiO₂ 粒子在纤维中达到了纳米级分散(见图 1b).当纤维受拉伸时,由于无机纳米粒子的存在产生应力集中效应,易激发周围基体产生微裂纹(银纹),同时粒子之间的基体也产生屈服^[11],吸收一定变形功.纤维中一定量纳米粒子所导致的银纹化和屈服形变可吸收大量变形功,对纤维产生较强的增韧作用.同时无机纳米粒子的存在会使基体裂纹扩展受阻和钝化,最终终止裂纹,不至发展为破坏性开裂导致纤维拉伸断裂,并且纳米粒子与聚乙烯大分子间有强烈相互作用,起到了类似交联点的作用,则纳米粒子对 UHMWPE 纤维起到了一定的增强作用.另外,由前述 WAXD 分析可知,纳米 SiO₂ 改性后纤维的晶粒平均尺寸显著减小(见表 3),也有利于纤维模量的提高.

从表 4 还可以看出,高倍拉伸后,纳米 SiO₂ 改性 UHMWPE 纤维的断裂伸长比纯 UHMWPE 纤维的要小,由此可推断纳米 SiO₂ 粒子在纤维中确实起到了交联点的作用,限制了纤维大分子间的拉伸滑移运动,使纤维断裂伸长率有所减小.

2.6 纳米 SiO₂ 对纤维热机械性能的影响

图 4 是 3 级拉伸所得纯 UHMWPE 纤维和纳米 SiO₂ 改性纤维的 TMA 图谱.可以看出,在应力作用下的升温过程中,纯 UHMWPE 纤维有所伸长,至 140℃左右受热断裂,而纳米粒子改性纤维有所收缩,至较高温度 144℃左右才受热断裂.由于超拉伸后纤维大分子沿纤维轴向高度取向(见表 1),受热后纤维会发生解取向使纤维收缩,而

一定应力作用下纤维大分子间会发生滑移使纤维伸长.对纯 UHMWPE 纤维来说,受热过程中应力导致大分子间滑移的倾向占据优势,而对于纳米 SiO₂ 改性纤维,由于纳米粒子在纤维中起到了类似交联点的作用,限制了大分子间的滑移,因此收缩倾向占据优势.并且也正是纳米 SiO₂ 粒子的交联作用,使纤维在较高的温度下才受热断裂.这一结果与纤维 DSC 测试的结果相一致.由此可以说明,纳米 SiO₂ 粒子的加入,大大改善了 UHMWPE 纤维的热力学性能.

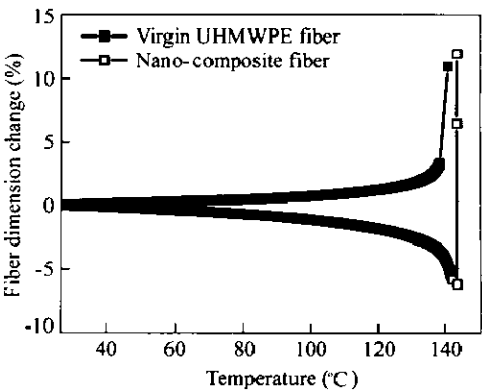


Fig. 4 TMA curves of virgin and nano-composite UHMWPE fibers

综上所述,本文通过在冻胶纤维萃取阶段加入纳米粒子,然后经过多级热拉伸,制得了纳米 SiO₂ 改性的 UHMWPE 纤维,且纳米 SiO₂ 粒子在纤维中可达到纳米级均匀分散.纳米 SiO₂ 粒子对 UHMWPE 纤维具有明显的增强增韧作用,特别是纤维的力学模量,提高了 10% 左右.同时,纤维热性能和热力学性能也得到大大改善,从而可在一定程度上拓宽 UHMWPE 纤维的应用领域.

REFERENCES

- 1 Yang Zhongwen(杨中文), Liu Xiwen(刘西文). Modern Plastics Processing and Applications(现代塑料加工应用), 1999, 11(6): 38 ~ 40
- 2 Zhang Yanqi(张彦奇), Hua Youqing(华幼卿). Acta Polymerica Sinica(高分子学报), 2003, (5): 683 ~ 687
- 3 Schmidt D, Shah D, Giannelis E P. Current Opinion in Solid State and Materials Science, 2002, 6: 205 ~ 212
- 4 Wang Haibao(王海宝), Wang Jiaxu(王家序), Chen Zhan(陈战), Qin Datong(秦大同). Journal of Chongqing University(重庆大学学报), 2002, 25(4): 26 ~ 28
- 5 Chen Xi(陈希), Huang Xiang'an(黄象安). Chemical Fiber Experimental Course(化学纤维实验教程). Beijing(北京): Textile Industrial Press(纺织工业出版社), 1988. 201 ~ 211, 251 ~ 260
- 6 Yu Junrong(于俊荣), Zhang Yanjing(张燕静), Liu Zhaofeng(刘兆峰). Journal of Donghua University(东华大学学报), 2003, (2): 17 ~ 20
- 7 Wu Wei(吴唯), Xu Zhongde(徐种德). Acta Polymerica Sinica(高分子学报), 2000, (1): 99 ~ 104
- 8 Wang K H, Choi M H, Koo C M, Xu M Z, Chung I J, Jang M C, Choi S W, Song H H. J Polym Sci, Part B: Polym Phys, 2002, 40: 1454 ~ 1463
- 9 Ma Chuanguo(马传国), Rong Minzhi(容敏智), Zhang Mingqiu(章明秋). Acta Polymerica Sinica(高分子学报), 2003, (3): 381 ~ 386
- 10 Ou Yuchun(欧玉春). Polymer Materials Science and Engineering(高分子材料科学与工程), 1998, 14(3): 12 ~ 15
- 11 Hao Lihua(赫丽华), Ning Rongchang(宁荣昌), Kong Jie(孔杰). Engineering Plastics Application(工程塑料应用), 2002, 30(4): 53 ~ 55

PREPARATION AND STUDIES ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF ULTRAHIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE/NANO-SiO₂ COMPOSITE FIBERS

YU Junrong, LUAN Xiuna, HU Zuming, LIU Zhaofeng

(State Key Laboratory for Modification of Chemical Fibers and Polymer Materials, Donghua University, Shanghai 200051)

Abstract UHMWPE/nano-SiO₂ composite fibers were prepared by the method of adding nano-SiO₂ in extracting stage, and the influence of nano-SiO₂ on the structure and properties of UHMWPE fibers were determined by SEM, sonic orientation, WAXD, DSC, TMA and mechanical measurements. The results showed that nano-SiO₂ particles diffused into UHMWPE gel fibers during the extracting stage, and they could be dispersed in nano-size in UHMWPE fibers. Compared to virgin UHMWPE fibers, the orientation and crystallinity of UHMWPE/nano-SiO₂ composite fibers remained unchanged, while the crystal size decreased greatly. After incorporating nano-SiO₂, UHMWPE fibers became both stiffer and tougher than the virgin ones, especially the fiber modulus, which was increased greatly from 1359.24 cN/dtex to 1505.90 cN/dtex. Meanwhile, nano-composite UHMWPE fibers displayed a better thermal and thermomechanical stability.

Key words Ultrahigh molecular weight polyethylene fiber, Nano-SiO₂, Structure, Properties