

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.06.006

聚苯硫醚/槲皮素抗氧化纤维的制备及性能

韩汶欣^{1,3},任靖屹²,连丹丹²,邢俊德³,卢建军^{1,2}(1. 太原理工大学煤科学与技术重点实验室,太原 030024; 2. 太原理工大学轻纺工程学院,山西晋中 030600;
3. 太原理工大学生物医学工程学院,山西晋中 030600)

摘要:为提高聚苯硫醚(PPS)纤维的抗氧化性能,采用共混改性的方法,用熔融纺丝机制备了PPS/槲皮素复合纤维。探索了PPS/槲皮素复合纤维的可纺性,并分析了改性后复合纤维表面形貌、取向度、拉伸性能、热稳定性以及抗氧化性能。结果表明,槲皮素在PPS纤维中分散较均匀,没有出现较大的团聚颗粒;槲皮素在复合纤维中起到了增塑剂的作用,使复合纤维的取向度提高;随着槲皮素含量的增加,断裂强度先提高后稍有降低,当槲皮素质量分数为0.20%时,PPS复合纤维的断裂强度达到最高值,为15.84 cN/tex,较纯PPS纤维提高了17.51%;复合纤维的氧化诱导温度有明显的提升,且在槲皮素质量分数为0.20%时效果最佳,达到了467.3℃,较纯PPS纤维提升了14.9℃。槲皮素分子结构中酚羟基作为自由基捕捉剂,捕捉PPS纤维氧化产生的自由基,抑制其进一步氧化降解。

关键词:聚苯硫醚;槲皮素;熔融纺丝;热稳定性;抗氧化性能

中图分类号: TQ342.94 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)06-0032-06

Preparation and Properties of Polyphenylene / Quercetin Sulfide Antioxidant Fibers

Han Wenxin^{1,3}, Ren Jingyi², Lian Dandan², Xing Junde³, Lu Jianjun^{1,2}(1. Key Laboratory of Coal Science and Technology, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;
2. College of Textile Engineering, Taiyuan University of Technology, Jinzhong 030600, China;
3. College of Biomedical Engineering, Taiyuan University of Technology, Jinzhong 030600, China)

Abstract: In order to improve the thermal oxidation performance of polyphenylene sulfide (PPS) fibers, PPS / quercetin composite fibers were prepared by melt spinning machine with blending modification method. The spinnability of PPS / quercetin composite fibers were investigated. The surface morphology, orientation, tensile properties, thermal stability and oxidation resistance of the modified composite fibers were studied. The results indicate that quercetin is more evenly dispersed in PPS fibers, and no large agglomerated particles appear. Quercetin plays a role of plasticizer in PPS fibers, and improves the orientation of composite fibers. With the increase of quercetin content, the breaking strength of composite fibers first increases and then decreases slightly, the breaking strength of composite fibers with the content of 0.20% reaches the highest value of 15.84 cN/tex, which is increased by 17.51%. The oxidation induction temperature of composite fibers is obviously improved, and the effect is best when the content is 0.20%, reaching 467.3℃, which is 14.9℃ higher than that of pure PPS fibers. The phenolic hydrogen group in the molecular structure of quercetin is used as a free radical scavenger to capture the free radicals generated by the oxidation of PPS fibers and inhibit the further oxidation degradation.

Keywords: polyphenylene sulfide; quercetin; melt spinning; thermal stability; oxidation resistance

聚苯硫醚(PPS)是以苯环在对位上连接硫原子交替连接而形成大分子主链的结晶性高聚物^[1]。PPS分子链上大量的苯环存在使其大分子链具有良

好的刚性与耐热性,而硫醚键又能赋予大分子链一定的柔顺性,且苯环与硫醚键相互交替连接,使其大分子结构对称规整,具有较高的结晶性。因此,PPS

基金项目: 山西省科技厅重大专项计划项目(MJH2016-04),山西省科技厅青年基金项目(201601D202032),山西省基础研究计划项目(201801D221129)

通讯作者: 卢建军,博士,教授,主要从事高分子改性,有机催化研究 E-mail: lujianjuntz@tyut.edu.cn

收稿日期: 2019-03-12

引用格式: 韩汶欣,任靖屹,连丹丹,等. 聚苯硫醚/槲皮素抗氧化纤维的制备及性能[J]. 工程塑料应用,2019,47(6): 32-37.

Han Wenxin, Ren Jingyi, Lian Dandan, et al. Preparation and properties of polyphenylene / quercetin sulfide antioxidant fibers[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(6): 32-37.

是一种高性能的热塑性树脂,具有力学性能高、尺寸稳定性好、电气性能优越等特性,广泛应用于石油化工、汽车、机械、电子电气、航空航天和国防等领域,称为六大工程塑料之一^[2-6]。

PPS 纤维由 PPS 树脂通过熔融纺丝制得,具有与 PPS 树脂相同的优异性能,因而成为主要的特种过滤材料之一,作为除尘滤袋在火力发电厂、垃圾焚烧厂、钢铁厂及水泥等工业领域得到广泛应用^[7-8]。随着近年来我国持续加大对大气污染的治理,对除尘滤袋的要求也逐渐提高,而 PPS 纤维由于其大分子链上苯环和硫原子以 σ 键相联,键能较低^[9],在复杂的高温环境下,易受到环境中的强氧化气体进攻,断裂形成自由基,进而发生氧化交联、大分子链断裂、降解等反应^[10-11],导致纤维材料失效,使用寿命缩短,严重影响了企业的正常生产并限制了 PPS 纤维应用领域的扩展。因此,PPS 纤维抗氧化性能的改善已成为迫在眉睫的问题。

目前,PPS 纤维抗氧化研究主要通过添加助剂的物理共混方式来提高其抗氧化性能,其助剂主要包括:有机抗氧剂和无机纳米材料^[12-14]。但由于 PPS 的熔点较高(285℃),其加工温度均在 290℃ 以上,导致一般的抗氧剂在加工过程中出现热分解或者失活的现象,不能起到抗氧的作用,同时带来的副反应会破坏 PPS 的性能并影响纤维的可纺性;无机纳米材料虽然具有优良的耐热性,但其自身的特性,导致纳米粒子在 PPS 基体中容易团聚,分散不均,使 PPS 纤维出现局部缺陷,综合性能降低。

槲皮素是一种天然耐高温抗氧剂,熔点高达 320℃,分解温度达到 335℃ 以上,具有一般有机抗氧剂无法比拟的耐热性。槲皮素分子结构中 2,3 位间有双键,37,47 位处有羟基,故能作为树脂等氧化过程中产生的游离基团接受体^[15],并且槲皮素结构中存在大量的苯酚基团,可作为自由基捕捉剂,提高聚合物的抗氧化性能^[16],此外由于其绿色、抗菌等特性,广泛应用于生物医药等领域。

笔者选用槲皮素来提高 PPS 纤维的抗氧化性能,研究不同质量分数槲皮素对 PPS 纤维性能的影响,并分析了槲皮素在 PPS 纤维中的抗氧机理。

1 实验部分

1.1 实验原料

PPS 树脂颗粒:PPS-0320PO,美国 Ticona 公司;

槲皮素:浅黄色粉末,阿拉丁试剂(上海)有限公司。

1.2 主要仪器及设备

真空转鼓干燥器:SZG50 型,常州市福亿干燥设备有限公司;

真空干燥箱:DZF6000 型,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;

双螺杆挤出机:CTE35 型,科贝隆(南京)机械有限公司;

电子天平:ME104 型,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;

小型纺丝机:自制;

电子单纱强力仪:YG061FQ 型,莱州市电子仪器有限公司;

声速取向仪:SCY-Ⅲ型,东华大学;

热重(TG)分析仪:TGA4000 型,美国 Perkin Elmer 公司;

场发射扫描电子显微镜(SEM):SM-6700FJ 型,日本电子株式会社;

同步热分析仪:SDT650 型,美国 TA 公司。

1.3 试样制备

称取足量的纯 PPS 树脂颗粒,放入真空转鼓干燥机中,于 130℃ 下干燥 15 h。称取一定量的槲皮素置于真空烘箱中,于 120℃ 下干燥 10 h。按表 1 的 PPS/槲皮素复合母粒配方,将干燥后的 PPS 树脂颗粒与槲皮素加入双螺杆挤出机中,在表 2 设定的螺杆温度下,通过熔融混合、挤出、冷却、切粒,分别制备出不同质量分数的 PPS/槲皮素复合母粒。

表 1 PPS/槲皮素复合母粒配方

样品编号	PPS 树脂颗粒	槲皮素
PPS	100.00	0
PPSQ1	99.90	0.10
PPSQ2	99.85	0.15
PPSQ3	99.80	0.20
PPSQ4	99.75	0.25
PPSQ5	99.70	0.30

表 2 PPS/槲皮素复合纤维的纺丝工艺参数

样品编号	螺杆温度/℃				弯管温度/℃	箱体温度/℃	熔体温度/℃	熔体压力/MPa
	一区	二区	三区	四区				
PPS	290	310	311	311	315	312	306	9.8
PPSQ1	290	309	310	310	312	311	303	9.4
PPSQ2	290	309	308	309	311	310	302	9.1
PPSQ3	288	305	307	308	310	309	300	8.9
PPSQ4	288	305	306	306	308	308	300	8.6
PPSQ5	288	303	305	305	306	305	299	8.5

将制备好的 PPS/槲皮素复合母粒在 130℃ 真空烘箱中干燥 13 h,然后用转速为 500 r/min 的混合机使其混合均匀,取出后加入自制的熔融纺丝机的料仓,经过螺杆挤出机、弯管、箱体、计量泵、纺丝

组件、喷丝板、冷却组件、牵伸以及卷绕得到 PPS/ 槲皮素复合纤维,其制备流程如图 1 所示,变量工艺参数列于表 2,并固定纺速为 880 m/min,泵供量为 22 g/min,热盘温度分别设定为 90,105,110℃,牵伸倍数为 4.5。

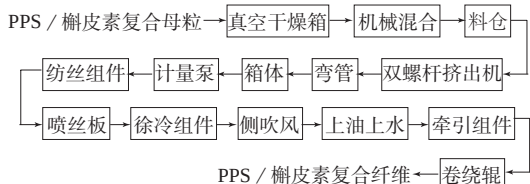


图 1 PPS/ 槲皮素复合纤维的制备流程图

1.4 性能测试与表征

(1) 形貌表征。

截取复合纤维试样置于导电胶上,经喷金处理,利用 SEM 对纤维表面进行观察,加速电压 7 kV。

(2) 热性能测试。

将复合纤维试样剪碎至粉末状,称量 8~10 mg 置于陶瓷坩埚中,设置温度从 30℃升温至 800℃,升温速率为 10℃/min, N₂ 氛围,气体流量为 20 mL/min。

(3) 取向度表征。

采用声速取向仪记录声波在纤维内传播的距离和所用时间,根据声波传播的时间和距离计算声速值,表征取向度。

(4) 拉伸性能测试。

根据 GB/T 14344-2008,采用电子单纱强力仪对复合纤维试样进行拉伸性能测试,夹持纤维长度为 250 mm,拉伸速率为 150 mm/min,测量 10 次,取平均值得到纤维断裂强度和断裂伸长率。实验环境温度 25℃,相对湿度 65%。

(5) 抗热氧化性能测试。

根据 GB/T 19466.6-2009,采用同步热分析仪进行测试。将复合纤维试样剪碎至粉末状,称取 (10±0.5) mg 放入带孔的陶瓷坩埚中,在空气氛围下,流量为 20 mL/min,从 30℃开始升温,升温速率为 10℃/min,观察荧光屏上的热流量曲线,直到曲线出现明显变化后,再升温 30℃,停止加热,得到氧化诱导温度曲线。采用切线法求得氧化诱导温度,每个试样测试 3 次后取平均值。

2 结果与讨论

2.1 槲皮素对复合纤维可纺性的影响

纤维的可纺性是指高聚物流体在稳定的拉伸

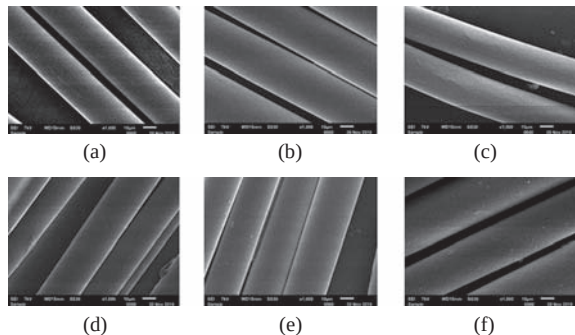
作用所形成连续细长丝条的能力,是判断高聚物母粒能否纺制成化纤的重要指标之一。不同含量的复合纤维的纺丝工艺参数见表 2,可纺性评估列于表 3。由表 2 及表 3 可见,PPS/ 槲皮素复合纤维的螺杆温度、弯管和箱体温度均比纯 PPS 纤维有轻微的降低,这表明复合纤维的纺丝所需的工艺温度降低,对设备的损耗降低。同时,随着槲皮素含量的增加,熔体压力呈下降趋势,表明槲皮素的添加,使 PPS 熔体流动性变好,熔体经过纺丝组件后更容易形成纤维,并且没有出现飘丝断头的现象,表明 PPS/ 槲皮素复合纤维具有纺丝制成纤维的能力,即可纺性优良。

表 3 PPS/ 槲皮素复合纤维的可纺性

样品编号	飘丝断头	可纺性
PPS	无	优
PPSQ1	无	优
PPSQ2	无	优
PPSQ3	无	优
PPSQ4	无	优
PPSQ5	无	优

2.2 槲皮素在复合纤维中的相容性和分散性

图 2 为纯 PPS 和 PPS/ 槲皮素复合纤维表面的 SEM 照片,由图 2a 可以清晰地看出,纯 PPS 纤维的表面比较平整光滑;由图 2b、图 2c 及图 2d 可以看出,复合纤维的表面平滑;由图 2e 和图 2f 可以看出,复合纤维的表面整体上虽比较平整光滑,但存在寥寥可数的突出小颗粒。这是由于槲皮素虽然为有机抗氧剂,与聚合物熔融混合不会出现团聚现象,但由于 PPS 的加工温度低于槲皮素的熔点,且槲皮素在稍高于熔点的温度下才开始产生分解,因此槲皮素与 PPS 熔融混合时为固体颗粒,存在部分混合不均而导致的团聚现象。综上表明,复合纤维表面比较光滑平整,没有出现较大的团聚现象,因此有机抗氧剂槲皮素与 PPS 具有良好的相容性,在 PPS 复合纤维中分散较均匀。



a—纯 PPS ; b—PPSQ1 ; c—PPSQ2 ; d—PPSQ3 ; e—PPSQ4 ; f—PPSQ5

图 2 纯 PPS 及 PPS/ 槲皮素复合纤维表面的 SEM 照片

2.3 复合纤维的取向度

化纤在纺制过程中必须经过牵伸工艺进行热定型,此过程中的外力拉伸作用会导致大分子链段、晶体等出现不同程度的取向,从而使纤维具有各向异性,对纤维的力学性能有很大影响,因此,对复合纤维的取向度进行研究。

PPS/槲皮素复合纤维的取向度可通过声速取向仪得到的声速来进行判断^[17],声速越大表明纤维取向度越高。图3为PPS复合纤维的声速随槲皮素含量的变化曲线。由图3可以看出,复合纤维的声速值较纯PPS纤维均有一定程度的提升,随着槲皮素含量的增加,复合纤维的声速值逐渐增大。当槲皮素质量分数为0.20%时,复合纤维的声速达到1.80 km/s,较纯PPS的1.62 km/s提高了0.18 km/s。声速提高表明纤维的取向度提高。这是由于槲皮素在PPS基体中起到类似增塑剂的作用,使PPS熔体的流动性变好,因此在相同的纺丝工艺条件下,大分子链在拉伸作用下可以更迅速地沿着纤维轴规则排列,使纤维结构的规整性提高,因此声波沿纤维传递的速度加快,即纤维取向度提高。

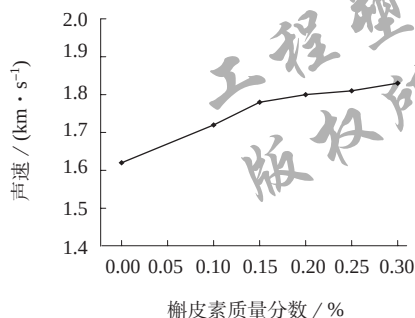


图3 不同含量槲皮素下PPS复合纤维的声速

2.4 复合纤维的拉伸性能

图4为PPS/槲皮素复合纤维的断裂强度和断裂伸长率随着槲皮素含量的变化曲线。由图4可知,随着槲皮素含量增加,PPS复合纤维的断裂强度逐渐增大,当槲皮素质量分数为0.20%时,断裂强度达到最大值,为15.84 cN/tex,较纯PPS纤维的13.48 cN/Tex提升了17.51%,随着槲皮素含量继续增加,断裂强度缓慢下降。其原因可归结于槲皮素的添加提高了PPS复合纤维的取向度,使纤维分子结构沿着纤维轴排列规整,宏观表现为断裂强度提高;继续增加槲皮素含量时,断裂强度缓慢下降是由于槲皮素在PPS纤维中出现个别团聚现象导致纤维存在部分缺陷所致。PPS/槲皮素复合纤维的断裂伸长率随着槲皮素含量增加基本没有变化。

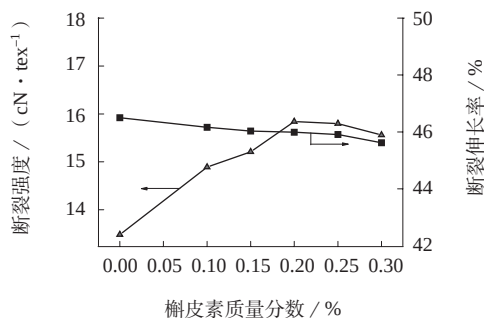
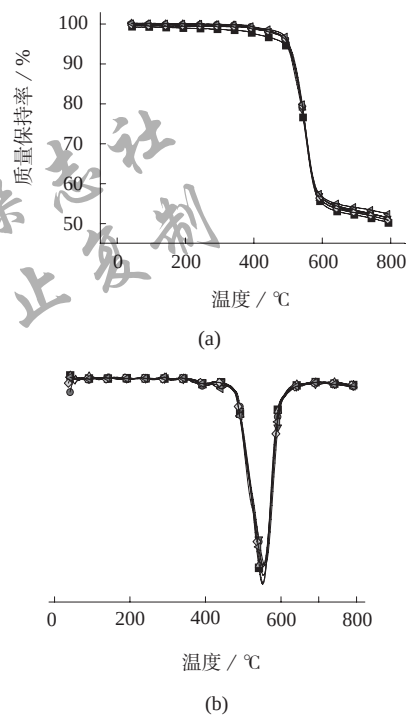


图4 纯PPS以及PPS/槲皮素复合纤维的力学性能

2.5 复合纤维的热稳定性性能

图5为PPS/槲皮素复合纤维的TG和一阶微商(DTG)曲线,其热分解温度参数列于表4。



■—PPS; ●—PPSQ1; ▲—PPSQ2; ▼—PPSQ3; ◆—PPSQ4; ◀—PPSQ5

a—TG 曲线; b—DTG 曲线

图5 纯PPS和PPS/槲皮素复合纤维的TG和DTG曲线

表4 纯PPS和PPS/槲皮素复合纤维的热分解数据

样品编号	$T_{5\%}/^{\circ}\text{C}$	$T_{15\%}/^{\circ}\text{C}$	$T_{30\%}/^{\circ}\text{C}$	$T_{\max}/^{\circ}\text{C}$
PPS	487.17	527.27	553.67	551.32
PPSQ1	501.29	529.62	555.56	552.30
PPSQ2	501.44	530.29	556.31	553.09
PPSQ3	502.62	532.02	557.12	553.79
PPSQ4	502.09	530.55	556.53	553.59
PPSQ5	501.95	530.31	556.44	553.21

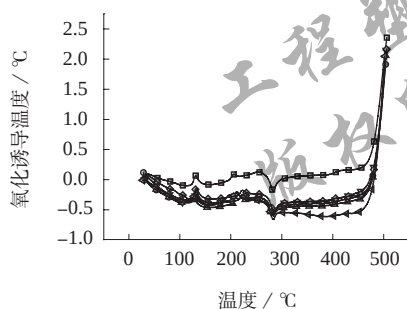
注: $T_{5\%}$, $T_{15\%}$ 及 $T_{30\%}$ 分别为复合纤维失重 5%, 15% 及 30% 时的温度, $T_{\max}$ 为分解速率最大时的温度。

由图5可知,纯PPS纤维及复合纤维的热分解过程均为一步分解过程,且在DTG曲线只出现一个最大分解速率峰。由表4纯PPS纤维及复合

纤维的热分解数据可得,复合纤维的 $T_{5\%}$ 较纯 PPS 纤维有明显的提升,且在槲皮素质量分数为 0.20% 时达到最大值,为 502.62℃,较纯 PPS 纤维提高了 15.45℃;同时复合纤维的 $T_{15\%}$, $T_{30\%}$ 以及 $T_{\max}$ 均有一定程度的提升,且随着槲皮素含量的变化呈微弱的先增长后下降的趋势,且在槲皮素质量分数为 0.20% 时均达到最高值,分别为 532.02, 557.12, 553.79℃。其原因归结于槲皮素在复合纤维的加工中具有增塑剂的作用,使熔体流动性变好,提高了纤维的可纺性及取向度,使复合纤维的分子沿纤维轴排列更加有序,阻隔了纤维热分解过程中分解产物的扩散和逸出,延缓了热量的传递。当槲皮素质量分数超过 0.20% 后,其在 PPS 纤维中的分散效果变差,导致其热稳定性降低,但仍较纯 PPS 纤维高。

2.6 复合纤维的抗氧化性能

氧化诱导温度的测定是衡量高分子材料热氧稳定性的重要方法之一,可以有效地判断 PPS 的热氧稳定性^[17]。图 6 为 PPS/槲皮素复合纤维的氧化诱导温度曲线,复合纤维相应的氧化诱导温度列于表 5。



■—PPS; ●—PPSQ1; ▲—PPSQ2; ▼—PPSQ3; ◆—PPSQ4; ◄—PPSQ5

图 6 纯 PPS 以及 PPS/槲皮素复合纤维的氧化诱导温度曲线

表 5 纯 PPS 及 PPS/槲皮素复合纤维的氧化诱导温度数据

样品编号	氧化诱导温度 / °C
PPS	452.4
PPSQ1	457.8
PPSQ2	462.5
PPSQ3	467.3
PPSQ4	466.9
PPSQ5	466.5

由图 6 可明显看出, PPS/槲皮素复合纤维的氧化诱导温度比纯 PPS 都有明显的提高,说明槲皮素的添加对 PPS 的抗氧化性能有提升作用。在槲皮素质量分数小于 0.20% 时,随着槲皮素含量的增加,复合纤维的氧化诱导温度逐渐增大,当槲皮素质量分数为 0.20% 时,复合纤维的氧化诱导温度达到最大值,为 467.3℃,较纯 PPS 提高 14.9℃。这是

由于槲皮素结构中含有大量具有捕捉自由基能力的基团——酚羟基,当 PPS/槲皮素复合纤维暴露在高温有氧环境中时,槲皮素的酚羟基基团中的 H 原子活性较高,会很快捕获纤维周围的 O·自由基及 PPS 大分子链中 C—S 键因受氧攻击而断裂形成的 R·自由基,形成稳定的 RH 化合物,减轻氧气对 PPS 的侵蚀和抑制 PPS 大分子链的引发、增长,进而提高 PPS 复合纤维的高温抗氧化性能,且抗氧化性能随着槲皮素含量的增加而提高^[16]。

但是当槲皮素质量分数超过 0.20% 后, PPS 复合纤维的氧化诱导温度不再随着含量的增加而提升,反而出现轻微的下降。这是由于槲皮素的含量已经达到其作用的最大值,再增加含量便会引起团聚等不良现象,使纤维内部产生缺陷,导致其抗氧化性能下降。

3 结论

(1) 采用熔融纺丝法制备的 PPS/槲皮素复合纤维具有良好的可纺性。虽然槲皮素质量分数达到 0.25% 以上时出现寥寥可数的团聚,但整体上槲皮素在 PPS 纤维中分散均匀。

(2) 槲皮素作为有机小分子颗粒,在 PPS 加工中起到增塑的作用,提高了 PPS 纤维的拉伸性能,并在槲皮素质量分数为 0.20% 达到最佳,断裂强度达到 15.84 cN/tex,较纯 PPS 纤维的 13.48 cN/tex,提升了 17.51%。

(3) 槲皮素的添加提高了 PPS 纤维的热稳定性,复合纤维的 $T_{5\%}$ 较纯 PPS 纤维有明显的提升,且在槲皮素质量分数为 0.20% 时达到了 502.62℃,提高了 15.45℃。

(4) 随着槲皮素添加量的增加, PPS 复合纤维的氧化诱导温度呈先提高后缓慢减小的趋势,且在槲皮素质量分数为 0.20% 时达到最大值,为 467.3℃,较纯 PPS 纤维提升了 14.9℃。槲皮素的耐高温性及结构中的大量抗氧活性基团,可以捕捉 PPS 纤维在高温有氧环境下产生的自由基,抑制 PPS 纤维的进一步氧化降解。

参考文献

- [1] Lian Dandan, Dai Jinming, Zhang Ruiping, et al. Enhancing the resistance against oxidation of polyphenylene sulphide fiber via incorporation of nano TiO₂-SiO₂ and its mechanistic analysis[J]. Polymer Degradation and Stability, 2016, 129:77-86.
- [2] Cao Lin, Deng Shuling, He Ziqin, et al. Effects of carbon nanotube on mechanical, crystallization, and electrical properties of binary blends of poly(phenylene sulfide) and polyphthalamide[J]. Journal

- of Thermal Analysis and Calorimetry, 2016, 125(2):927-934.
- [3] Deng Shuling, Cao Lin, Lin Zhidan, et al. Nanodiamond as an efficient nucleating agent for polyphenylene sulfide[J]. Thermochimica Acta, 2014, 584:51-57.
- [4] Kim Kiho, Lee Jinseong, Ryu Seokgyu, et al. Laser direct structuring and electroless plating applicable super-engineering plastic PPS based thermal conductive composite with particle surface modification[J]. RSC Advances, 2018, 8(18):9933-9940.
- [5] Wang Huaiyuan, Wang Chijia, Gao, Dong, et al. Heat/durability resistance of the superhydrophobic PPS-based coatings prepared by spraying non-fluorinated polymer solution[J]. Colloid and Polymer Science, 2016, 294(9):1 519-1 527.
- [6] Wang Shiyu, Zhang Jiazhen, Zhou Zhengong, et al. Compressive and flexural behavior of carbon fiber-reinforced PPS composites at elevated temperature[J]. Mechanics of Advanced Materials and Structures, 2018, doi:10.1080/15376494.2018.1472334.
- [7] Tanthapanichakoon W, Furuuchi M, Nitta K, et al. Degradation of semi-crystalline PPS bag-filter materials by NO and O₂ at high temperature[J]. Polymer Degradation and Stability, 2006, 91(8):1 637-1 644.
- [8] Chang Deqiang, Liu Jingxian, Mao Ning, et al. Study on the thermal stability of polyphenylene sulfide filter media by non-isothermal thermogravimetry[J]. Advanced Materials Research, 2013, 663:988-992.
- [9] 王笑天,周旭晨,李振环,等. S-9228 抗氧化剂改善聚苯硫醚热氧化性能的研究[J]. 合成纤维工业, 2017, 40(3):17-21.
- Wang Xiaotian, Zhou Xuchen, Li Zhenhuan, et al. Improvement of thermal oxidation stability of polyphenylene sulfide with antioxidant S-9928[J]. China Synthetic Fiber Industry, 2017, 40(3):17-21.
- [10] Hu Zexu, Li Lili, Sun Bin, et al. Effect of TiO₂@SiO₂ nanoparticles on the mechanical and UV-resistance properties of polyphenylene sulfide fibers[J]. Progress in Natural Science:Materials International, 2015, 25(4):310-315.
- [11] Yang Xiao, Duan Lian, Ran Xiaoqi. Effect of polydopamine coating on improving photostability of polyphenylene sulfide fiber[J]. Polymer Bulletin, 2016, 74(3): 641-656.
- [12] 张勇,张蕊萍,黄玉莲,等. 抗热氧化 PPS 复合材料的制备及性能研究[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(6):23-25.
- Zhang Yong, Zhang Ruiping, Huang Yulian, et al. Preparation and properties of PPS composites with anti thermal oxidation resistance[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(6):23-25.
- [13] Xing Jian, Deng Bingyao, Liu Qingsheng. Preparation and thermal properties of polyphenylene sulfide / organic montmorillonite composites[J]. Fibers and Polymers, 2014, 15(8):1 685-1 693.
- [14] Lian Dandan, Dai Jinming, Zhang Ruiping, et al. Effect of Ti-SiO₂ nanoparticles on non-isothermal crystallization of polyphenylene sulfide fibers[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2017, 129(1):377-390.
- [15] 卢宁,韩吉春,任博雪,等. 二氢槲皮素预处理对心肌缺血/再灌注损伤抗氧化作用的影响[J]. 中国药理学通报, 2017, 33(4):487-492.
- Lu Ning, Han Jichun, Ren Boxue, et al. Antioxidation effect of dihydroquercetin pretreatment in isolated rat hearts during myocardial ischemia reperfusion injury[J]. Chinese Pharmacology Bulletin, 2017, 33(4):487-492.
- [16] Arrigo R, Dintcheva N T, Guenzi M, et al. Thermo-oxidative resistant nanocomposites containing novel hybrid-nanoparticles based on natural polyphenol and carbon nanotubes[J]. Polymer Degradation and Stability, 2015, 115:129-137.
- [17] Focke W W, Westhuizen I V D. Oxidation induction time and oxidation onset temperature of polyethylene in air[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2010, 99(1):285-293.

优惠销售中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》及论文集光盘

中国合成树脂供销协会加工与应用分会为了配合 2000~2018 年先后召开的中国工程塑料复合材料技术研讨会,共编辑、出版了 19 本《论文集》。其内容涉及工程塑料及通用塑料的合成与改性、加工、应用、测试、模具、设备新技术,以及文献综述、评论等,突出了我国工程塑料行业发展规划、热点分析。现尚有部分《论文集》,以及应广大读者要求加工制作的论文集光盘,现以优惠价格(含邮费)销售,欢迎订阅。

1. 2004~2018 年中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》,优惠价 400 元/套。

2. 2000~2018 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集光盘,优惠价 300 元/盘。本光盘除收录 2000~2018 年 19 本《论文集》的全部内容外,还包括约 3 300 人次的会议代表通讯录。

邮局汇款

收款地址:山东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

帐号:1602001229014425546

网上订购: <http://www.epa1973.com>