



LMTPEE/PET 偏心复合纤维的制备及其性能

肖雪¹, 何肖², 邢喜全³, 张梦茹¹, 王秀华¹

(1. 浙江理工大学纺织纤维材料与加工技术国家地方联合工程实验室, 杭州 310018; 2. 余姚大发化纤有限公司, 浙江宁波 315400; 3. 宁波大发化纤有限公司, 浙江宁波 315336)

摘要: 为了制备柔韧性好、弹性优良的低熔点复合纤维, 以低熔点热塑性聚醚酯弹性体(LMTPEE)为皮层、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)为芯层通过熔融纺丝法制备了偏心复合纤维。探讨了复合比对 LMTPEE/PET 偏心复合纤维横截面、结晶性能、取向性能、拉伸性能、热收缩性能、卷曲性能等的影响, 以及热处理温度对复合纤维的卷曲形貌和黏结性能的影响。结果表明: 不同复合比的复合纤维横截面均有稳定的偏心结构; 随着复合比(皮与芯的体积比)从 40:60 改变到 50:50、60:40, 复合纤维的断裂伸长率和干热收缩率呈现增大的趋势, 断裂强度、声速值、熔融焓和结晶度均逐渐减小。复合比为 60:40 的 LMTPEE/PET 偏心复合纤维在热处理温度 140 °C、热处理时间 10 min 时, 具有较好的卷曲性能; 热处理温度高于 170 °C、热处理时间 10 min 时, 纤维间发生黏结。该结果可为低熔点自卷曲纤维的制备和应用提供参考。

关键词: 低熔点 TPEE; 偏心皮芯复合纤维; 热收缩性能; 三维卷曲; 黏结性能

中图分类号: TQ342.25

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851 (2023) 11-0701-08

引文格式: 肖雪, 何肖, 邢喜全, 等. LMTPEE/PET 偏心复合纤维的制备及其性能[J]. 浙江理工大学学报(自然科学), 2023, 49(6): 701-708.

Reference Format: XIAO Xue, HE Xiao, XING Xiquan, et al. Preparation of LMTPEE/PET composite fibers with an eccentric sheath-core and their properties[J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University, 2023, 49(6): 701-708.

Preparation of LMTPEE/PET composite fibers with an eccentric sheath-core and their properties

XIAO Xue¹, HE Xiao², XING Xiquan³, ZHANG Mengru¹, WANG Xiuhua¹

(1. National Engineering Lab for Textile Fiber Materials and Processing Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Yuyao Dafa Chemical Fiber Co., Ltd., Ningbo 315400, China; 3. Ningbo Dafa Chemical Fiber Co., Ltd., Ningbo 315336, China)

Abstract: To prepare low melting point composite fibers with superior flexibility and elasticity, eccentric composite fibers were prepared by melt spinning with low melting point thermoplastic polyether ester elastomer (LMTPEE) as the skin component and polyethylene terephthalate (PET) as the core component. The effects of the composite ratio on the cross section, crystallinity, orientation, drawability, thermal shrinkage and crimp properties of the LMTPEE/PET fibers and the effects of heat treatment temperature on the crimp morphology and adhesion properties of the composite fibers were discussed. The results show that the cross sections of the composite fibers with various composite ratios have stable eccentric morphology. With the composite ratio (the ratio of LMTPEE to PET) changing from 40:60 to 50:50 and 60:40, the breaking elongation and dry heat shrinkage of the composite fibers increase, while the tensile strength, sonic velocity, melting enthalpy and crystallinity decrease gradually. The LMTPEE/PET fibers with a composite ratio of 60:40 show a superior

收稿日期: 2023-02-16 网络出版日期: 2023-06-07

基金项目: 宁波“科技创新 2025”重大专项(宁波市重大科技任务攻关项目)(2022Z156)

作者简介: 肖雪(1998—), 女, 湖南常德人, 硕士研究生, 主要从事新型纤维材料方面的研究。

通信作者: 王秀华, E-mail: wxiuhua@126.com

crimping performance after being treated at 140 °C for 10 min, while they could adhere with each other at a heat treatment temperature higher than 170 °C for 10 min. The results can provide reference for the preparation and application of low melting point self-crimping fibers.

Key words: low melting point TPEE; eccentric sheath-core composite fiber; heat shrinkage; three-dimensional crimp; adhesion property

0 引言

热熔黏合是非织造布制备的主要方法之一。其原理是将一定比例的低熔点纤维和主体纤维混合均匀后制成纤网,通过热处理使低熔点纤维受热熔融,与主体纤维产生黏结。随着纺丝技术的进步,已经开发出以低熔点组分为皮层、高熔点组分为芯层的皮芯型复合纤维,以此取代低熔点单组分纤维,低熔点复合纤维与主体纤维混合所制备的非织造布的蓬松度明显改善。目前此类皮芯复合纤维主要有 PP/PE、PE/PET、LMPET/PET 等,广泛应用于汽车坐垫、床垫、仿丝棉等非织造领域^[1-2]。

LMPET/PET 皮芯复合纤维由于成本低、制备技术成熟而受到广泛应用。皮层 LMPET 组分与芯层常规 PET 有着良好的相容性,当复合纤维加热到超过皮层熔点而低于芯层熔点时,皮层 LMPET 发生熔融与主体纤维发生黏结,而芯层仍保持原来的物理状态,起到支撑作用^[3-5]。然而,LMPET/PET 皮芯复合纤维呈物理刚性,其模量较高,所制非织造布的柔性和手感较差,导致其应用受到限制^[6-7]。因此,寻求良好的柔韧性低熔点组分与 PET 复合制备纤维成为开发的关键。聚醚酯弹性体(TPEE)由高结晶聚酯硬段和无定形聚酯软段组成。硬段微晶形成物理交联,为 TPEE 提供力学性能;软段为其提供柔韧性。因此 TPEE 具有优良的弹性、机械强度和耐磨性等优点^[8-10]。低熔点热塑性聚醚酯弹性体(Low melting point thermoplastic polyether ester elastomer,LMTPEE)是由 TPEE 改性制备,具有良好的回弹性、手感柔性和较好的聚酯相容性^[11]。在复合方式上,与常规皮芯复合纤维相比,LMTPEE 和常规 PET 以偏心方式进行复合纺丝,制得的纤维经松弛热处理后,其卷曲势能释放,呈现出类似弹簧结构的三维自卷曲效果^[12],所制非织造布具有良好的透气性和回弹性,可替代 LMPET/PET 皮芯复合纤维用于热熔黏合非织造布的制备。但目前尚未有 LMTPEE/PET 偏心皮芯复合纤维的研究报道。

本文以 LMTPEE 为皮层、常规 PET 为芯层,采用熔融纺丝技术制备 LMTPEE/PET 偏心皮芯

复合纤维。讨论了复合比对 LMTPEE/PET 偏心复合纤维横截面、结晶性能、取向性能、拉伸性能、热收缩性能、卷曲性能等的影响,以及热处理温度对复合纤维的卷曲性能和黏结性能的影响,期望为此类低熔点自卷曲短纤维的制备和应用提供参考。

1 实验部分

1.1 原料

LMTPEE 切片:熔点 158 °C,特性黏度 1.40 dL/g,熔融指数(230 °C,2.16 kg)11.6 g/10 min,四川晨光科新塑胶有限责任公司提供。

PET 切片:纤维级,特性黏度 0.65 dL/g,中国石化仪征化纤有限责任公司生产。

1.2 LMTPEE/PET 偏心复合纤维的制备

1.2.1 切片干燥

将 LMTPEE 切片在真空转鼓烘箱中 60 °C 干燥 5 h,再 80 °C 干燥 24 h;PET 在 140 °C 真空转鼓烘箱中干燥 12 h。

1.2.2 复合纺丝

通过熔融纺丝制备复合比(皮与芯的体积比)为 40:60、50:50 和 60:40 的三种 LMTPEE/PET 偏心复合纤维,线密度分别为 92.3、91.5 dtex 和 82.5 dtex。LMTPEE/PET 偏心复合纤维的纺丝工艺参数见表 1。

1.2.3 性能测试

横截面形貌观察:通过纤维哈氏切片器(Y172,上海祈工仪器设备有限公司)和光学显微镜(BX51,日本 Olympus 公司)观察偏心复合无油丝的横截面。

DSC 测试:称取复合纤维 5~10 mg,利用差示扫描量热仪(DSC 1,瑞士 Mettler-Toledo 公司)进行测试,在流量为 50 mL/min 的氮气保护下,以空坩埚为参比样,测试温度从 25 °C 升至 300 °C,升温速率为 10 °C/min。

XRD 测试:采用 X 射线衍射仪(A8 Advance,布鲁克 AXS 有限公司),将复合纤维剪成粉末状,铺成 1 mm 左右的薄片,使用 Cu 靶,扫描角度为 5°~70°,扫描速度为 3(°)/min。

表 1 LMTPEE/PET 偏心皮芯复合纤维的纺丝工艺参数

项目	不同复合比下的工艺参数		
	复合比 40:60	复合比 50:50	复合比 60:40
皮层螺杆温度/℃	230/265/265/265	230/265/265/265	225/265/265/265
芯层螺杆温度/℃	260/298/298/298	260/298/298/298	260/295/295/295
皮层箱体温度/℃	300	295	300~310
芯层箱体温度/℃	300	295	300~310
皮层计量泵频率/Hz	10	12.5	14
芯层计量泵频率/Hz	15	12.5	9.4
喷丝板规格	偏心-24 孔		
侧吹风风速/(m·s ⁻¹)	1.0		
油剂品种	涤纶油剂,1.0%		
纺丝速度/(m·min ⁻¹)	2000		
热定形温度/℃	120		
牵伸倍数	1.4		

声速取向性能测试:使用纤维试样的实测声速 C (km/s)表征纤维的取向度。通过声速取向仪(SCY-Ⅲ,上海思尔达科学仪器有限公司)测定声速 C ,预张力 0.1 cN/dtex,每个试样测 5 次,取平均值。

拉伸测试:采用电子单纱强力机(YG020B,常州八方力士纺织仪器有限公司)夹持距离为 200 mm,预张力为 0.05 cN/dtex,拉伸速度为 1000 mm/min。

干热收缩测试:采用热空气收缩检测仪(TST 2,LENZING INSTRUMENTS 公司),在 140 ℃下静态测试 5 min,预张力 0.01 cN/dtex,每个试样测 5 次,取平均值。

卷曲性能测试:参考 GB/T 6506—2017《合成纤维变形丝卷缩性能试验方法》,分别在 120~180 ℃(每隔 10 ℃进行测试)鼓风烘箱中,热处理时间为 10 min,对样品进行卷曲性能测试,卷曲性能指标分别按式(1)—式(3)计算:

$$CC/\% = \frac{L_g - L_z}{L_g} \times 100$$

(1)

$$CM/\% = \frac{L_g - L_f}{L_g} \times 100$$

(2)

$$CS/\% = \frac{L_g - L_b}{L_g - L_z} \times 100$$

(3)

其中:CC 为卷曲收缩率,%;CM 为卷曲模量,%;CS 为卷曲稳定度,%; L_g 为 0.12 cN/dtex 张力下试样的长度,cm; L_z 为 0.001 cN/dtex 张力下试样的长度,cm; L_f 为 0.01 cN/dtex 张力下试样的长度,cm; L_b 为 1 cN/dtex 张力下试样的长度,cm。

卷曲形貌测试:在手持光学显微镜(WIFI1MEGA,上海战晟机电设备有限公司)下观察干热处理后复

合纤维的卷曲形貌。

黏结性能测试:将多根纤维交叉放在玻片上,在鼓风烘箱中分别进行 160、165、170、175 ℃和 180 ℃热处理,待冷却后利用光学显微镜拍摄黏结情况。

2 结果与讨论

2.1 复合比对纤维性能的影响

2.1.1 横截面分析

图 1 是复合比为 40:60、50:50 和 60:40 的 LMTPEE/PET 偏心皮芯复合无油丝的横截面图。由图 1 可知,随着皮层 LMTPEE 的比例逐渐提高,芯层 PET 的比例逐渐降低,不同复合比的偏心复合纤维横截面都有稳定的偏心结构,皮层和芯层的包覆效果较好。

2.1.2 结晶性能分析

图 2 是不同复合比的复合纤维的 DSC 第一次升温曲线和 XRD 图谱。由图 2(a)知,不同复合比的复合纤维 DSC 第一次升温曲线上都只有 255 ℃左右一个熔融峰,此熔融峰为芯层 PET 的熔融峰。而皮层 LMTPEE 的熔融峰不明显,说明皮层 LMTPEE 的结晶度很低。这是因为 LMTPEE 组分中引入的第三单体 IPA 和软链段 PTMG 破坏了 PBT 链段的规整性,使皮层结晶能力下降。随着复合比从 40:60 变到 60:40,即皮层比例逐渐增加,芯层比例逐渐减少,芯层的熔融焓逐渐减少^[13]。

由图 2(b)知,复合比为 40:60 的复合纤维 XRD 光谱在 2θ 为 17.5°、22.44°和 25.48°出现衍射峰,该衍射峰为 PET 晶体中(010)、(-110)、(100)晶面所贡献^[13]。随着 LMTPEE 组分比例增多,与上述光

谱不同,复合比为 50:50 和 60:40 的复合纤维光谱中在 2θ 为 17.0° 、 20.2° 、 23.0° 和 24.8° 处出现衍射峰,该衍射峰为 LMTPEE 组分中的硬链段 PBT 晶体中 (010)、 (-111) 、(100) 和 (111) 晶面所贡献^[14-15],此时复合纤维衍射峰是皮层硬段 PBT 和芯

层 PET 的衍射峰叠加形成的。随着皮层 LMTPEE 比例增多,皮层硬段 PBT 的 2θ 为 20.2° 的特征峰逐渐明显,随着芯层 PET 比例降低,复合纤维的衍射峰趋于缓和,表明复合纤维的结晶度降低。这与不同复合比的复合纤维 DSC 测试结果一致。

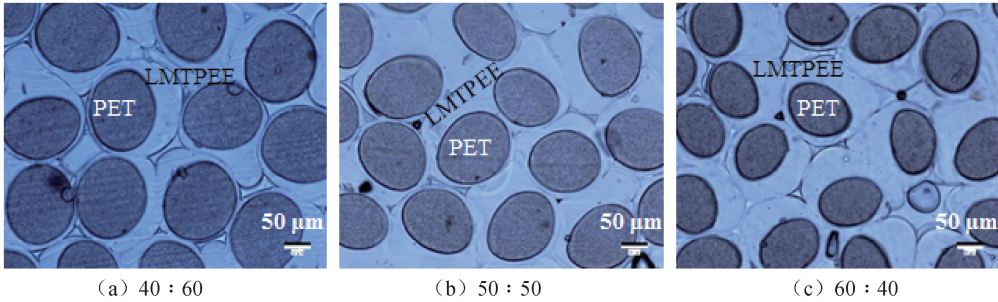


图1 不同复合比的偏心复合无油丝横截面显微镜照片

根据纤维的结晶性能测试结果知,皮层 LMTPEE 结晶度很低,熔融纺丝时单丝间容易发生黏结,会影

响 LMTPEE/PET 偏心复合纤维的可纺性,所以在纺丝时应强化冷却效果,使丝条迅速冷却成形。

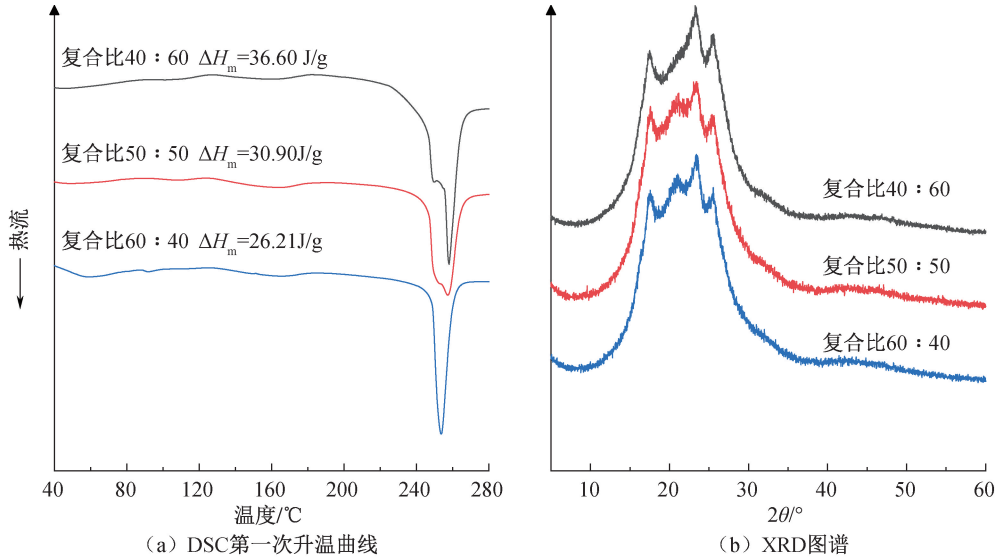


图2 不同复合比的复合纤维的 DSC 第一次升温曲线和 XRD 图谱

2.1.3 取向性能分析

图 3 是声速 C 随复合比变化柱状图。由图 3 知,随着复合比从 40:60 变到 60:40,复合纤维的声速 C 由 2.48 km/s 减小到 2.06 km/s。这是因为在 LMTPEE/PET 偏心复合纤维中芯层组分在牵伸中承担较大的拉伸应力,相应取向程度较高,因此随着芯层比例逐渐减少,复合纤维的取向度减小^[16]。

2.1.4 拉伸性能分析

图 4 分别是不同复合比的复合纤维的断裂伸长率、断裂强度随复合比变化曲线。由图 4 可知,随着皮层比例逐渐增加,复合纤维的断裂伸长率从 46.7% 增大到 51.4%,这是因为 LMTPEE/PET 偏心复合纤维中的皮层主要为复合纤维提供柔韧性;与此同时,断裂强度从 2.8 cN/dtex 降低至 2.3 cN/

dtex,这是因为芯层 PET 主要为复合纤维提供强度支撑。因此随着皮层比例逐渐增加、芯层比例逐渐减少,复合纤维的断裂伸长率升高、断裂强度降低。

2.1.5 热收缩性能分析

图 5 是不同复合比的复合纤维在 140 °C 热处理 5 min 后的收缩率柱状图。随着复合比从 40:60 变到 60:40,复合纤维的干热收缩率从 3.5% 增至 7.0%。这是因为复合纤维的热收缩主要与纤维的取向和结晶结构有关,由于皮层组分中引入的第三单体 IPA 破坏了 PBT 链段的规整性,结晶能力明显下降,所以随着皮层比例逐渐增加,在热的作用下非晶区取向分子链的解取向程度逐渐增大,宏观表现为收缩率上升^[17]。结果表明复合纤维中皮层 LMTPEE 为高收缩组分,芯层 PET 为低收缩组分。

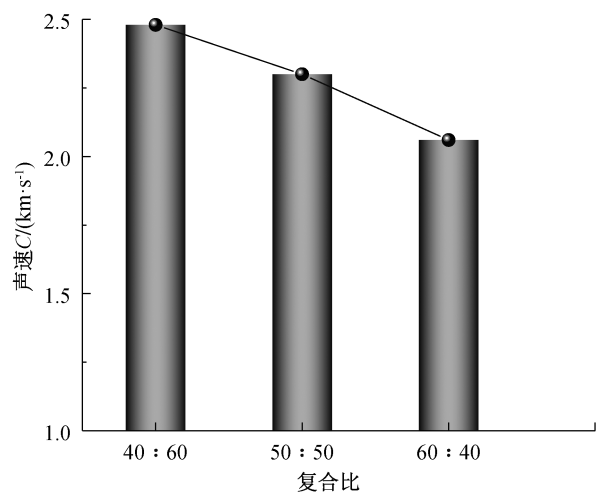


图 3 声速 C 随复合比变化柱状图

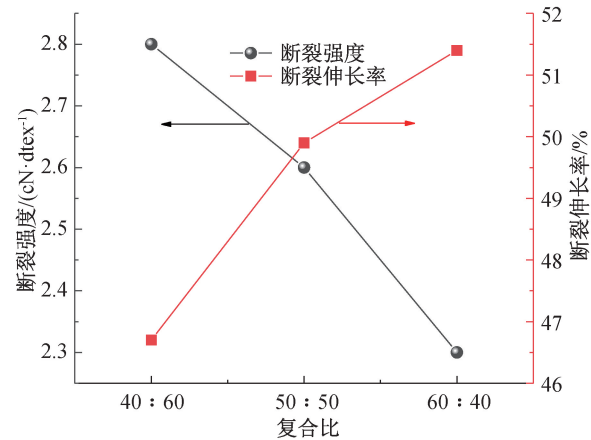


图 4 断裂伸长率、断裂强度随复合比变化曲线

2.1.6 卷曲性能分析

图 6 为不同复合比的 LMTPEE/PET 偏心复

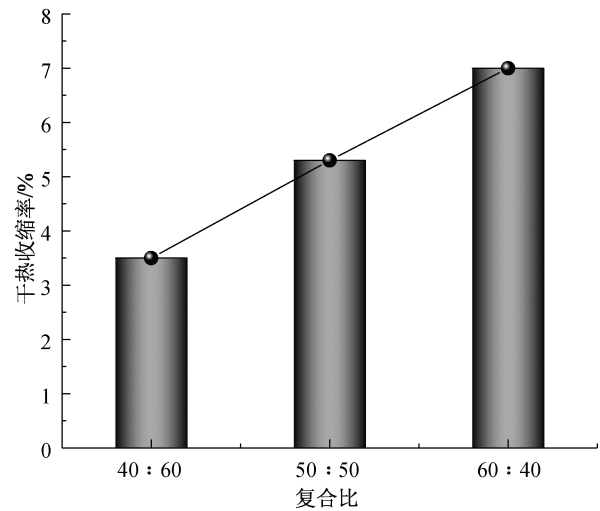
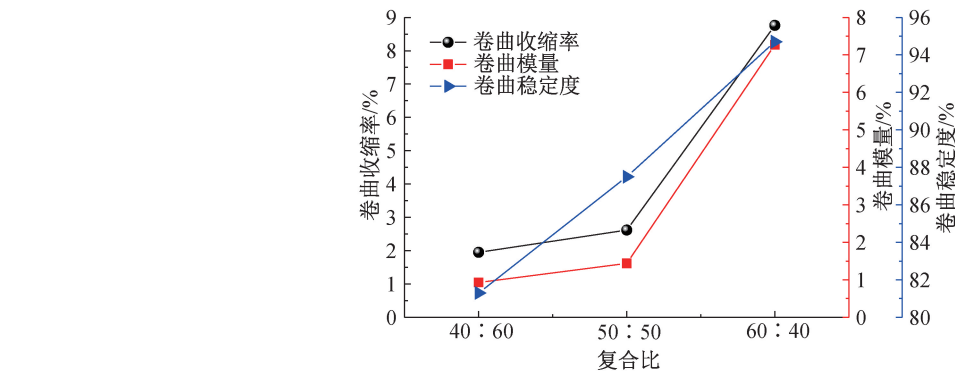


图 5 干热收缩率随复合比变化柱状图

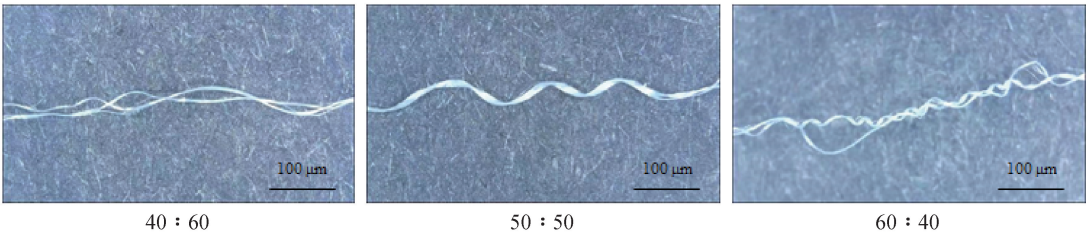
合纤维经 140 ℃ 处理 10 min 后的卷曲性能曲线和卷曲形貌图。由图 6(a)可知,随着复合比从 40:60 变到 60:40,复合纤维的卷曲收缩率、卷曲模量和卷曲稳定度都增大。当复合比为 60:40 时,偏心复合纤维的各项卷曲指标最好,卷曲收缩率为 8.76%,卷曲模量为 7.27%,卷曲稳定度为 94.7%。这表明偏心复合纤维中皮层 LMTPEE 组分比例越多,在热的作用下两组分间的热收缩应力差越大,复合纤维的卷曲性能越好^[18]。从图 6(b)也可以看出,当复合比为 60:40 时偏心复合纤维更加卷曲。

2.2 热处理温度对纤维性能的影响

选择复合比为 60:40 的 LMTPEE/PET 偏心



(a) 卷曲指标随复合比变化曲线



(b) 卷曲形貌随复合比变化图

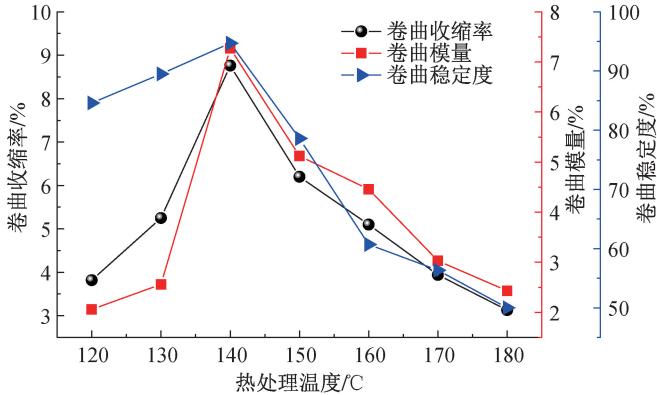
图 6 不同复合比的复合纤维卷曲指标曲线和卷曲形貌图

复合纤维进行实验。

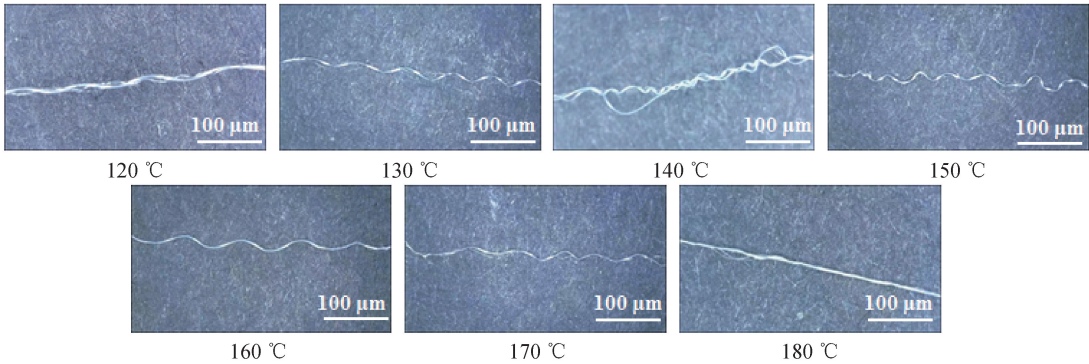
2.2.1 热处理温度对纤维卷曲性能的影响

图 7 分别是不同热处理温度下复合纤维的卷曲指标曲线和卷曲形貌图。由图 7(a)可知,随着热处理温度从 120 ℃ 升至 180 ℃,复合纤维的卷曲收缩率、卷曲模量、卷曲稳定度均为先上升后降低。当热处理温度为 140 ℃ 时复合纤维的卷曲性能达到最

好、卷曲形貌中螺旋密度最高(图 7(b)),其卷曲收缩率为 8.76%,卷曲模量为 7.27%,卷曲稳定度为 94.7%,表明当热处理温度为 140 ℃ 时卷曲性能最好。因为随着热处理温度升高,复合纤维的分子链获得能量,卷曲势能释放越大,卷曲呈现就越好^[19]。热处理温度高于 160 ℃ 时,皮层 LMTPEE 组分开始熔融,纤维间发生黏结,限制了纤维的卷曲呈现。



(a) 卷曲指标随热处理温度变化曲线



(b) 不同热处理温度下的卷曲形貌图

图 7 不同热处理温度下复合纤维的卷曲指标曲线和卷曲形貌图

2.2.2 热处理温度对纤维黏结性能的影响

图 8 是复合纤维在 160~180 ℃ 下热处理 10 min 后的纤维间黏结图。热处理温度低于 165 ℃ 时,皮层未发生黏性流动;而热处理温度高于 170 ℃ 时,芯层均保持原来的物理状态,皮层逐渐发生熔融,纤维间产生黏结(见图 c、图 d 和图 e 中划圈标记处)。这是因为热处理温度为 160~165 ℃ 刚达到 LMTPEE 的熔点,难以出现良好的黏性流动。而当热处理温度高于 170 ℃ 时,皮层发生黏性流动,冷却后纤维间产生黏结。但热处理温度远低于芯层的熔点,所以芯层仍保持原有状态,起到了支撑作用^[20]。

3 结 论

本文通过熔融纺丝法制备了 LMTPEE 为皮组分、PET 为芯组分的偏心复合纤维,讨论了复合比

对 LMTPEE/PET 偏心皮芯复合纤维横截面、结晶性能、取向性能、拉伸性能、热收缩性能、卷曲性能的影响,以及热处理温度对复合纤维的卷曲性能和黏结性能的影响。主要研究结论为:

a)根据 DSC 和 XRD 测试结果知,皮层 LMTPEE 结晶度很低,熔融纺丝时单丝间容易发生黏结,会影响 LMTPEE/PET 偏心复合纤维的可纺性,所以在纺丝时应强化冷却效果,使丝条迅速冷却成形。

b)复合比为 40:60、50:50、60:40 的偏心复合纤维横截面都有均一稳定的偏心结构,皮层和芯层的包覆效果较好。

c)随着复合比从 40:60 到 60:40 的变化,即皮层 LMTPEE 比例逐渐提高、芯层 PET 比例逐渐降低,复合纤维的断裂伸长率和干热收缩率逐渐提高,断裂强度、声速 C 值、熔融焓和结晶度均逐渐降低。

d)复合比为 60:40 的 LMTPEE/PET 偏心复

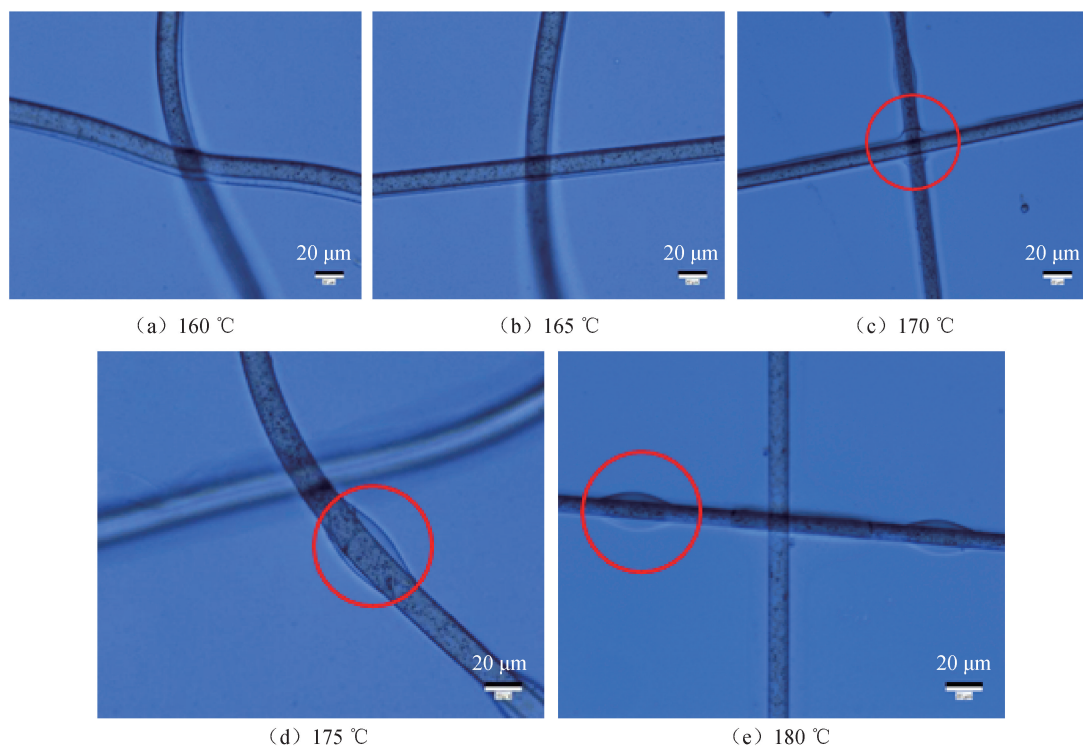


图 8 不同热处理温度下的复合纤维的纤维间黏结图

合纤维,在热处理温度为 140 °C、热处理时间为 10 min 时,具有较好的卷曲性能;在 170 °C 以上热处理 10 min 时,皮层 LMTPEE 进入黏流态,纤维间会发生黏结。

参考文献:

- [1] 徐朝晨, 吉鹏, 王朝生, 等. 国内外低熔点纤维的发展现状及趋势[J]. 合成纤维工业, 2020, 43 (6):54-58.
- [2] 林世东, 姚洪涛. 我国低熔点涤纶短纤维的发展现状及发展趋势[J]. 合成纤维工业, 2018, 41(5):40-45.
- [3] 邹多福, 伍凯飞. 低熔点聚酯的开发与应用概况[J]. 轻纺工业与技术, 2018, 47(增刊 1):3-5.
- [4] 江峰, 代本祝, 陈文健, 等. 低熔点高黏接强度共聚酯热熔黏合剂的制备[J]. 长春工业大学学报, 2021, 42 (1):80-83.
- [5] 王少博, 王朝生, 王华平. 低熔点共聚酯的流变性能及其皮芯复合纺丝研究[J]. 合成纤维工业, 2016, 39(4):33-37.
- [6] 吴文锟. 皮芯型低熔点聚酯复合纤维的生产及热缩性能评价[J]. 化工管理, 2020 (3):114.
- [7] 黄志超. 超低熔点共聚酯材料的制备及其对织物抗起毛起球性能的影响[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2018: 1-8.
- [8] Zhang J W, Liu F, Wang J G, et al. Synthesis of poly (butylene terephthalate)-poly (tetramethylene glycol) copolymers using terephthalic acid as starting material: a comparison between two synthetic strategies [J].

Chinese Journal of Polymer Science, 2015, 33(9):1283-1293.

- [9] Fei X, Wang J G, Zhu J, et al. Biobased poly (ethylene 2, 5-furancocarbonate): no longer an alternative, but an irreplaceable polyester in the polymer industry[J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2020, 8 (23): 8471-8485.
- [10] Chi D, Fei L, Na H, et al. Poly(neopentyl glycol 2,5-furandicarboxylate): a promising hard segment for the development of bio-based thermoplastic poly (ether-ester) elastomer with high performance [J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2018, 6 (8): 9893-9902.
- [11] Chen C W, Hsu T S, Rwei S P. Effect of ethylene diaminetetraacetic acid on unsaturated poly (butylene adipate-co-butylene itaconate) copolyester with low-melting point and controllable hardness[J]. Polymers, 2019, 11(4):611.
- [12] Denton M J. 25-The crimp curvature of bicomponent fibres[J]. Journal of the Textile Institute, 1982, 73 (6):253-263.
- [13] Yu J C, Yan T W, Ji H C, et al. The evolution of structure and performance in copolyether-ester fibers with different heat-treatment process[J]. Journal of Polymer Research, 2019, 26(2):50.
- [14] Liu F, Zhang J W, Wang J G, et al. Incorporation of 1,4-cyclohexanedicarboxylic acid into poly (butylene

terephthalate)-b-poly (tetramethylene glyco) to alter thermal properties without compromising tensile and elastic properties[J]. RSC Advances, 2015, 5(114): 94091-94098.

[15] 高峰, 孙燕琳, 肖顺立, 等. 不同牵伸倍率下聚酯复合纤维的微观结构与性能[J]. 纺织学报, 2022, 43(8): 34-39.

[16] 高庆文. 高低黏 PET 并列复合纤维的制备及结构性能研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2019: 27-28.

[17] 严岩, 朱福和, 潘晓娣, 等. 低熔点皮芯复合聚酯纤维干热收缩研究[J]. 合成技术及应用, 2018, 33(3):5-9.

[18] 何崎, 范天翔, 李军令, 等. 热处理对 PTMG-PBT/PET 复合纤维性能的影响[J]. 合成纤维, 2021, 50(12):1-4.

[19] 林巧巧, 高庆文, 胡园超, 等. PA/PU 偏心皮芯复合长丝的热收缩和卷曲性能[J]. 合成纤维, 2018, 47(3):31-34.

[20] 束永健, 陈文兴, 钱军, 等. 低熔点再生聚酯皮芯复合短纤维的性能表征[J]. 合成纤维, 2016, 45(4):15-18.

(责任编辑:张会巍)