

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.07.008

可海水降解聚乙醇酸纤维及无纺布的连续制备与性能

纪旭¹, 张睿¹, 王小红¹, 徐鼎², 冯玉红², 潘莉莎¹

(1. 海南大学化学化工学院, 海口 570228; 2. 海南大学材料科学与工程学院, 海口 570228)

摘要: 为缓解不可降解无纺布对环境的压力, 利用聚乙醇酸(PGA)材料制备纤维及无纺布, 研究PGA材料的热性能以及探究纺丝机热加工温度、热辊温度、计量泵转速对纤维的直径、线密度、拉伸性能及无纺布的克重、厚度、拉伸性能、生产稳定性的影响, 优选生产工艺。结果表明, 在一、二、三、四区的温度分别为 225, 225, 230, 235 °C, 机头温度为 215 °C, 计量泵转速为 24 Hz, 热辊温度为 50 °C 的条件下, PGA 可实现纤维及无纺布的连续制备, 纤维及无纺布的综合性能较优: 未牵伸前纤维的直径为 0.153 mm, 线密度为 258.38 dtex, 拉伸强度为 1.55 cN/dtex; 无纺布克重为 335.52 g/m², 厚度为 0.672 mm, 拉伸强度为 17.07 MPa, 断裂伸长率为 552.50%, 制备的无纺布的厚度误差为 5.7%, 属于一等品。

关键词: 聚乙醇酸; 熔融纺丝; 可降解材料; 纤维; 无纺布

中图分类号: TS174 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)07-0049-08

Continuous preparation and performance of seawater degradable polyglycolate fibers and nonwovens

Ji Xu¹, ZHANG Rui¹, WANG Xiaohong¹, XU Nai², FENG Yuhong², PAN Lisha¹

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Hainan University, Haikou 570228, China;

2. School of Materials Science and Engineering, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: In order to alleviate the pressure of non-degradable nonwovens on the environment, polyglycolic acid (PGA) materials were used to prepare fibers and nonwovens, and the thermal properties of PGA materials, and the effects of thermal processing temperature, hot roller temperature and metering pump speed of spinning machine on the diameter, linear density, tensile properties of fibers, gram weight, thickness, tensile properties and production stability of nonwovens were studied, and the production process was optimized. The results show that under the conditions of 225, 225, 230 °C and 235 °C in the 1, 2, 3 and 4 zones respectively, the head temperature is 215 °C, the speed of the metering pump is 24 Hz, and the temperature of the hot roller is 50 °C, it can realize the continuous preparation of fibers and nonwovens of PGA, and the comprehensive properties of fibers and nonwovens are better: the fiber diameter before drafting is 0.153 mm, the linear density is 258.38 dtex, and the tensile strength is 1.55 cN/dtex. The weight of the nonwoven fabric is 335.52 g/m², the thickness is 0.672 mm, the tensile strength is 17.07 MPa, the elongation at break is 552.50%, and the thickness error of the prepared non-woven fabric is 5.7%, which belongs to the first-class product.

Keywords: polyglycolic acid; melt spinning; biodegradable material; fiber; nonwoven

绝大多数无纺布所采用材料是不可降解塑料, 如聚丙烯(PP)、高密度聚乙烯(PE-HD)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)等石油基不可降解材料^[1]。这些石油基材料对石油能源有巨大的消耗, 而石油作为不可再生资源, 不利于我国实现可持续发展道路^[2]。随着石油基材料所制备的不可降解无纺布应用越来越广泛, 环境恶化以及能源消耗的形势越发严

峻, 迫切需要一种非石油基可降解无纺布来代替不可降解无纺布, 而聚乙醇酸(PGA)具有可生物和海水降解性、高生物相容性、高力学性能及高阻隔性能等诸多优点, 其原料来源于煤制乙二醇的副产物乙酸甲酯, 有利于实现煤炭的清洁高效利用^[3-5]。李彩虹^[6]在研究中发现, PGA 纤维在海水中降解 30 天时的质量损失率为 5.1%, 大于自然填埋 30 天的

通信作者: 潘莉莎, 教授, 博士生导师, 研究方向为可降解材料

收稿日期: 2024-04-12

引用格式: 纪旭, 张睿, 王小红, 等. 可海水降解聚乙醇酸纤维及无纺布的连续制备与性能[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(7): 49-56.

Ji Xu, ZHANG Rui, WANG Xiaohong, et al. Continuous preparation and performance of seawater degradable polyglycolate fibers and nonwovens[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(7): 49-56.

质量损失率,且发现海水中降解的PGA纤维酯基大量分解,外观出现明显裂纹。而Chen等^[7]在研究中发现PGA在30℃的水中40天即可达到25%的质量损失率。目前PGA主要用于制备薄膜、医用缝合线、药物控释载体、骨折固定材料、组织工程支架等制品,但将其用于制备纤维和无纺织的工艺还不成熟,限制了其应用和推广^[16]。

何晨光等^[9]以聚乳酸-PGA共聚物(PLGA)为材料,采用静电纺丝方法制备纤维支架;冯泽华等^[10]以聚己内酯(PCL)作为静电纺丝原料通过静电纺丝法与无机材料组合,制备口腔医学中PCL静电纺丝纳米纤维基复合材料。虽然静电纺丝法是目前公认的能够简单有效制备连续纤维的方法,但静电纺丝法在工业上难以进行连续生产,熔融纺丝法则是适合大规模工业化生产的方法^[11]。熔融纺丝过程中有几个重要因素会影响无纺布的性能,分别是加工时一区、二区、三区、四区以及机头的温度、计量泵的转速以及热辊的温度。Fu等^[12-13]在研究中发现热拉伸、热定型等工艺对PGA纤维结构性能有重要影响,其中温度和是重要的工艺参数。所以笔者采用熔融纺丝法将PGA材料制备成纤维及无纺布,研究PGA材料的热性能以及探究纺丝机热加工温度、热辊温度、计量泵转速对纤维的直径、线密度、拉伸性能及无纺布的克重、厚度、拉伸性能、生产稳定性的影响,优选生产工艺。可为开发可海水降解无纺布的制备工艺提供了基础数据,为相关领域的进一步研究和应用奠定了基础。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PGA:MI-30,上海浦景化工公司。

1.2 主要设备及仪器

转矩流变仪:LH-60,上海科创设备有限公司;

小型综合纺丝机:FC-Z25,淄博市淄博方辰母料厂;

电子单纤维强力机,YG001,常州市第一纺织设备有限公司;

织物厚度仪:YG141D,常州市第一纺织设备有限公司;

万能试验机:WSM-2KN,长春市智能仪器设备有限公司;

光学显微镜:DZ3,日本JVC公司;

熔体流动速率(MFR)测定仪:XNR-400B,承德

德盛检测设备有限公司;

电子干燥箱:DZF-6020,上海博迅仪器有限公司;

TG分析仪:STA449F5,德国NETZSCH仪器公司;

电子天平:PL203,上海菁海仪器有限公司。

1.3 试样制备

(1) PGA纤维制备。

先将PGA原料放入温度为40℃的真空烘箱中干燥24h,再将综合纺丝机(图1)的一、二、三、四区及机头(图2)设置相应探究的温度并在达到温度之后保温0.5h。将干燥后的PGA加入到料斗中,通过热加工区域的加热并随着其中的螺杆转动被推入计量泵中,经固定速率下的计量泵送入机头中,最后通过机头中喷丝板上的喷丝孔挤出,在重力作用下于空气中被侧吹风冷却形成连续的长丝。



图1 综合纺丝机

Fig. 1 Integrated spinning machine

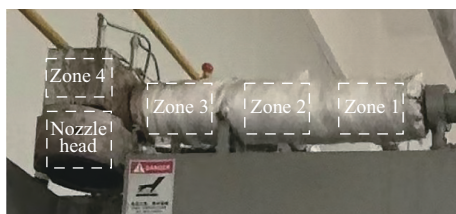


图2 一、二、三、四区及机头所在区域

Fig. 2 Zone where the 1st, 2nd, 3rd, 4th and nozzle head located

(2) PGA无纺布的制备。

将PGA纤维制备过程中形成的长丝通过牵伸器的高速气流,被高速气流牵伸成细纤维平铺在传送带上,经过相应探究温度的热辊热轧处理后形成无纺布。PGA无纺布生产工艺示意图如图3所示。

1.4 性能测试与表征

(1)同步热分析。采用同步热分析仪对PGA进行热重(TG)分析。取5~8 mg PGA放入坩埚,在20

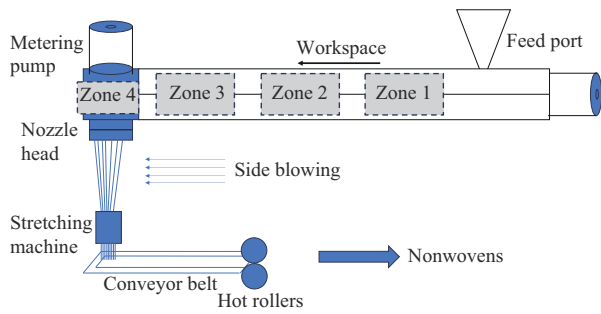


图3 无纺布生产工艺示意图

Fig. 3 Schematic diagram of production process of nonwovens

mL/min 的氮气保护下,用 50 mL/min 的氮气吹扫气吹扫,以 10 °C/min 的升温速率从 30 °C 升到 600,记录样品的 TG 曲线、微分热重(DTG)曲线、差示扫描量热(DSC)曲线。

(2) MFR 测试。根据 GB/T3682.1-2018,使用 MFR 测定仪对 PGA 进行 MFR 测试。将 6 g 试样置于试样筒中保温 5 min 后开始施加压力,10 s 切一刀,将切下的样品收集并称量,测试条件为 222~246 °C,载荷为 2.16 kg。

(3) 单纤维直径。单纤维的直径大小可以反映出制备过程通过喷丝板的熔体流量大小与熔体冷却速率,通过光学显微镜对单纤维直径进行测量,并记录五组数据求其平均值,平均值的有效数字到小数点后 3 位。

(4) 单纤维线密度。测量线密度时可以通过电子分析天平称量单纤维的质量 G_k 与纤维的长度来计算。记录有效数据并计算线密度,平均值的有效数字到小数点后两位,见公式(1):

$$N_{dt} = \frac{10G_k}{L} \quad (1)$$

式中: N_{dt} 为分特数,单位 dtex; G_k 为单纤维的质量,单位 kg; L 为单纤维的长度,单位 m。

(5) 单纤维的拉伸强度。单纤维的拉伸强度是影响无纺布力学性能的重要因素,因为纤维是无纺布中独立的受力单元,当无纺布在外力作用下,纤维受到的是拉伸的力。将纤维放入温度为 23 °C,湿度为 30% 的恒温恒湿电子干燥箱中 7 天。采用电子单纤维强力机对纤维进行测量,测量参数是标距为 2.0 cm,拉伸速度为 50 mm/min。每组参数下测量五次,最终结果取五次平均值。

(6) 无纺布的克重。按 FZ/T 60003-1991 测试无纺布的克重。裁剪无纺布规格为 25.0 cm×20.0 cm,要求无纺布样品是离布边超过 10 cm 的区域裁剪而

来。采用电子分析天平对裁剪好的样品进行质量测量,测量五组数据,最终结果取五次平均值。

(7) 无纺布的厚度。按 FZ/T 60004-1991 测试无纺布的厚度。取五块无纺布的样品,要求无纺布样品是离布边超过 10.0 cm 的区域裁剪而来,其面积不小于织物厚度仪的压脚面积(25 cm²)。将无纺布放入温度为 23 °C,湿度为 30% 的恒温恒湿电子干燥箱中 7 天。采用织物厚度仪对无纺布进行厚度测试,测量五组数据,最终结果取五次平均值。

(8) 无纺布的力学性能。按 FZ/T 60005-1991 测试无纺布的力学性能,包含拉伸强度与断裂伸长率。将无纺布裁剪为 20.0 cm×5.0 cm 的拉伸样条。采用万能试验机对拉伸样条进行拉伸性能测试。将拉伸样条,放入温度为 23 °C,湿度为 30% 的恒温恒湿电子干燥箱中 7 天。其中设置样品有效拉伸部分为 30 mm,拉伸速度为 50 mm/min。每组参数下测量五次,最终结果取五次平均值。

2 结果与讨论

2.1 PGA 热学性能表征

TG 曲线可以反映出 PGA 在热加工过程中温度对 PGA 质量稳定性的影响,PGA 的 TG 和 DTG 曲线如图 4 所示。复合切片的热失重百分之五、热失重百分之五十、热失重百分之九十五时的温度以及最大分解速率温度分别用 $T_{-5\%}$, $T_{-50\%}$, $T_{-95\%}$, T_p 表示。从图 4 可以看到,PGA 的 $T_{-5\%}$ 为 333.94 °C, $T_{-50\%}$ 为 371.58 °C, $T_{-95\%}$ 为 389.77 °C, T_p 为 372.87 °C,可以看到 PGA 在热分解过程只有一个分解台阶,主要分解阶段在 352.56~392.57 °C。升温完全分解为 H₂O 和 CO₂ 后质量降低 99.78%,剩余部分为杂质。在后续加工过程中为保证纺丝时分解量较小,则需要设置纺丝机温度小于 $T_{-5\%}$ 的温度,即小于 333.84 °C。

DSC 测试可以通过曲线分析出物理化学变化

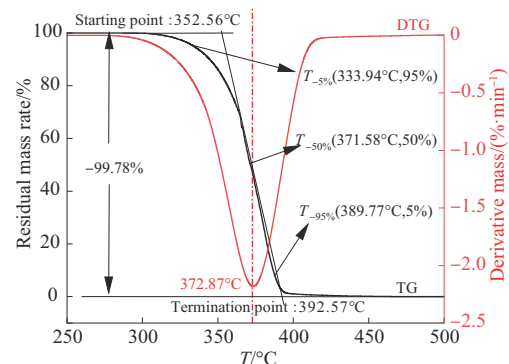


图4 PGA 的 TG 曲线与 DTG 曲线

Fig. 4 TG and DTG curve of PGA

中有关吸热放热以及热熔变化等定量或定性信息,PGA的DSC图如图5所示。由图5可见,200.06~244.80 °C为PGA熔融吸热峰即PGA的熔限,此处反映了PGA在热加工时达到200.06 °C才能开始熔融。而熔融峰顶点222.00 °C则为PGA的熔点。为保证PGA进入熔融状态且不损伤螺杆的叶片,则需要使第一加工区域不小于222.00 °C。

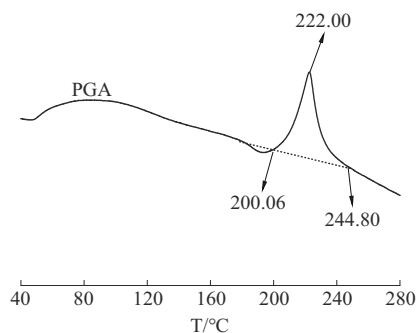


图5 PGA的DSC曲线

Fig. 5 DSC curve of PGA

MFR在工业上用来表示熔体黏度的相对值,是指在10 min内,通过毛细管中挤出的熔体质量。若MFR小,则黏度大,流动性差;反之则表示熔体黏度小,流动性强。通过测量不同温度下PGA的MFR,来分析PGA黏度和流动性随温度的变化。不同温度下PGA的MFR如图6所示。由图6可见,PGA的MFR随着温度升高而升高,即流动性随温度升高而升高。在242 °C处就已经达到了51.68 g/10 min,而在后续加工温度设置时,机头温度设定应小于242 °C。

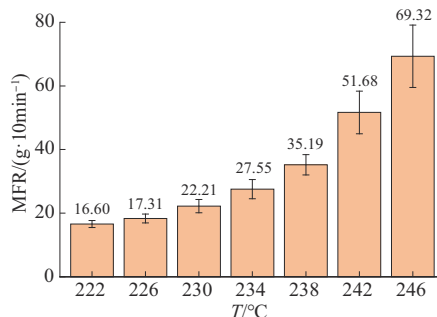


图6 PGA的MFR

Fig. 6 MFR of PGA

2.2 加工温度对PGA纤维连续可纺性的影响

在PGA无纺布的制备过程中,如果各加工温度过低会使PGA原料在加工区域凝固,堵塞计量泵入口,使螺杆的叶片因凝固堵塞而导致主机停车,严重影响生产制备。因此在探究PGA无纺布加工温

度的制备过程中,要遵循温度由高向低逐渐降温的原则。表1为加工温度对PGA纤维连续可纺性的影响。由于PGA在222 °C左右才会到达熔融状态,且 $T_{5\%}$ 为333.94 °C,所以为保证PGA在加工区域中完全熔融,则优先选择一区温度大于熔限区域温度244.80 °C。为了符合纺粘无纺布制备的要求,则需设置机头温度小于等于242 °C。

表1 加工温度对PGA纤维连续可纺性的影响

Tab. 1 Effect of processing temperature on continuous spinnability of polyglycolic acid fibers

Zone 1, 2, 3, 4 and head temperature/°C	Experimental phenomenon
245, 245, 240, 240, 240	Head of spinning machine is seriously leaking and producing white smoke
230, 230, 235, 235, 230	Spinning machine head leaking
225, 230, 235, 235, 225	Head of spinning machine leaks a small amount of dripping, and melt does not form filament
225, 225, 230, 230, 210	Pressure on head of spinning machine is too high, and melt cannot be extruded smoothly
225, 225, 230, 230, 220	Melt agglomerates and does not produce filaments
225, 225, 230, 235, 215	Spinning machine is producing filaments smoothly and continuously

当一区、二区、三区、四区、机头温度分别为245, 245, 240, 240, 240 °C时,PGA材料未到达计量泵时已发生严重降解,机头出现漏滴并产生白烟的现象;降温至230, 230, 235, 235, 230 °C,此时依旧出现漏滴现象,但已经不再产生白烟;再次降温至225, 230, 235, 235, 225 °C,此时现象为有少量漏滴,但从机头出来的熔体依旧不能成丝。在此降温至225, 225, 230, 230, 210 °C,此时机头压力显示为9.2 MPa,大于限制压力6 MPa,熔体不能顺畅挤出。此时将机头温度升高10 °C至220 °C,机头压力显示为5.8 MPa小于6 MPa,此时熔体从机头挤出后团聚在一起无法进行后续纺丝。考虑到这种情况是由于机头温度较高,形成的熔体无法及时降温凝固导致的,所以上调四区温度、下调机头温度。最终一区、二区、三区、四区、机头温度设置为225, 225, 230, 235, 215 °C,此时可以顺畅连续出丝。在此工况下,将机头的喷丝板挤出的丝通过牵伸器的高速气流进行牵伸,能顺利铺成细丝网并通过热辊热轧连续制得无纺布。

2.3 计量泵转速对PGA无纺布力学性能的影响

计量泵是位置处于第四加工区域到机头之间的动力提供及精准计量装置,在纺丝时,可以将熔

融的PGA材料从计量泵中推送至机头,从而经过喷丝板上的小孔挤出,冷凝后形成单纤维。设定热加工区域第一、二、三、四区温度分别为225,225,230,235 °C,机头温度为215 °C,光辊、花辊温度皆为50 °C。通过调节计量泵的转速来调节纺丝机喷丝板的出料量,出料量影响初生丝的粗细,也就是未牵伸前纤维的直径。

调节计量泵转速分别为18,24,30,36 Hz四个档位,收集未牵伸纤维用显微镜观察并将测量结果记录。称量未牵伸纤维质量和断裂强力计算其线密度与拉伸强度记入表2。由表2可知,PGA未牵伸纤维直径随着计量泵转速增加而增大,线密度也随着计量泵转速的增大而增大,但拉伸强度却是先增大然后减小,这可能由于计量泵转速为18 Hz的时候,纤维直径太小导致拉伸强度较低,而在计量泵转速达到306 Hz和36 Hz时,纤维可能由于熔体流量太大导致形成的初生丝还未稳定就被从喷丝板挤出,使其接触空气瞬间降温结晶,导致内部大分子来不及有序排列就冷凝结晶形成无定型结构^[4],这样的单丝纤维结晶度低和结晶排列较为杂乱,从而降低拉伸强度。所以从单纤维角来考虑,计量泵加工工况为24 Hz时,其形成的纤维力学性能较强。

表2 计量泵转速对PGA未牵伸纤维直径以及线密度和拉伸强度的影响

Tab. 2 Effect of metering pump speed on PGA undrafted fiber diameter, linear density and breaking

Metering pump speed/Hz	Diameter/mm	Linear density/dtex	Tensile strength/(cN·dtex ⁻¹)
18	0.094	105.83	1.26
24	0.153	258.38	1.55
30	0.176	380.81	1.34
36	0.227	396.15	1.35

再次调节计量泵转速分别为18,24,30,36 Hz四个档位,每次进行牵伸铺网、热轧成布等操作,收集最终成品无纺布,测量其克重、厚度、拉伸强度与断裂伸长率,如图7和图8所示。由图7可知,无纺布克重、厚度都随着计量泵转速增大而增大,从厚度0.535 mm增加到0.793 mm,克重从277.110 g/m²增加到390.685 g/m²。这是由于计量泵增大时同样增大了熔体的流量,所以使单位时间内无纺布的克重和厚度都增加。加工时计量泵转速从30 Hz增加到36 Hz时,无纺布克重和厚度未显著增加,这可能是由于计量泵转速过大,熔体熔融速度无法跟上计

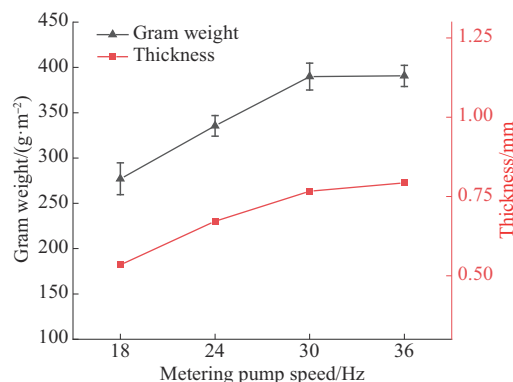


图7 计量泵转速对无纺布克重、厚度影响

Fig. 7 Effect of different metering pump speeds on grammage and thickness

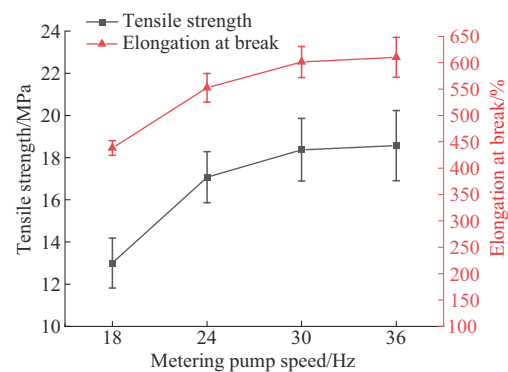


图8 计量泵转速对断裂伸长率和拉伸强度的影响

Fig. 8 Effect of different metering pump speeds on elongation at break and tensile strength

量泵36 Hz的大流量,此时再增大计量泵也无法提高熔体挤出的流量。

由图8可以发现,无纺布的断裂伸长率和拉伸强度都随着计量泵转速增加而增加,断裂伸长率从438.28%增加到610.37%,拉伸强度从13.00 MPa增加至18.57 MPa。这是由于计量泵转速增大,从而使熔体流量增加,进而使喷丝板挤出的纤维量增多,同样面积的无纺布单位面积内纤维量增多,所以断裂伸长率和拉伸强度都增加。但是为了绿色环保和经济效益,单位克重内拉伸强度最大的为最佳工况产品,计算单位克重内的拉伸强度如图9所示。经过图9对比,很明显地发现单位克重内拉伸强度最大的为24 Hz下的无纺布,此时性价比最高,与计算单丝力学性能相吻合。

PGA单丝直径随着计量泵转速的增大而增大,但单丝拉伸强度先增大后降低。由于PGA单丝纤维是随着挤出后在熔体重力的牵伸作用下形成的,出现拉伸强度变化的原因可能是在18 Hz时产生的纤维由于熔体流量较少,使热加工区域的熔体在机

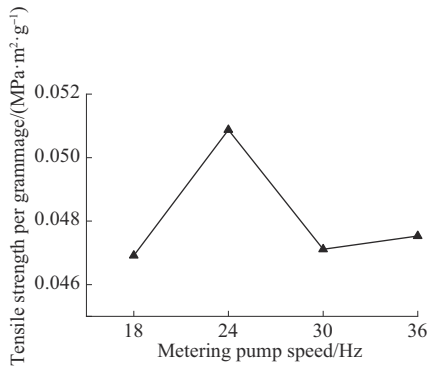


图9 无纺布单位克重内的拉伸强度

Fig. 9 Tensile strength of per unit weight

头挤出时携带有较高热量,而随着温度升高,冷凝时间增加且流动性也会随之增加,在重力作用下纤维直径会进一步减小。而直径减小的纤维在经过牵伸器中的高速气流牵伸后会导致部分纤维断裂,继而会影响由细小纤维热轧成型的无纺布的拉伸强度。但在30 Hz和36 Hz下产生的PGA纤维由于熔体流量较大,使热加工的熔体通过机头挤出后,纤维的外层会接触空气快速冷凝形成一层外壳,然而内部却不能及时接触到空气,导致内部冷凝速度小于外部,从而导致内外层形成位差,所以在重力牵伸过程中就会出现毛丝甚至断头的现象,得到的纤维均匀性极差。但无纺布的拉伸强度却又随着计量泵转速增加而增加,出现这种情况是因为30 Hz和36 Hz工况下单丝纤维经牵伸器在高速气流牵伸后平铺成网至传送带上,虽然牵伸后纤维出现毛丝或断头,但在热辊热轧后部分断纤维又热轧到一起,增强了无纺布的拉伸性能。

测量市售PP材质无纺布、PET材质无纺布的拉伸强度与断裂伸长率,并与已制备的PGA无纺布及何欢等^[15]制备的PP/PET复合无纺布作对比,如图10所示。制备的PGA无纺布拉伸强度为17.07 MPa,

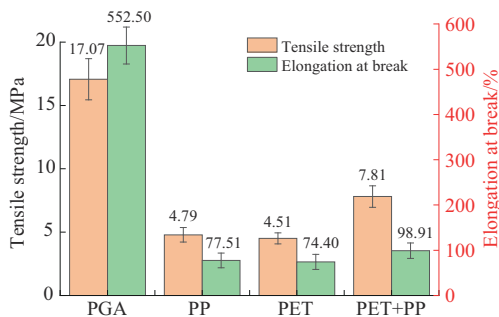


图10 不同材质无纺布拉伸性能对比

Fig. 10 Comparison of tensile properties of nonwovens of different materials

断裂伸长率为552.50%;PP无纺布拉伸强度为4.79 MPa,断裂伸长率为77.51%;PET无纺布拉伸强度为4.51 MPa,断裂伸长率74.4%;PE/PET复合无纺布拉伸强度为7.81 MPa,断裂伸长率为98.91%。对比可见,PGA无纺布超过绝大多数传统材料制备无纺布的物理性能。

2.4 热辊温度对PGA无纺布外观及生产厚度稳定性的影响

热辊黏合制备无纺布是最常见的无纺布黏合方法之一^[16],热辊是由光面热辊和花面热辊组合而成,两者之间留有狭小的缝隙给经纤维牵伸后在传送带上形成的纤维网通过,利用塑料材料的热塑性热轧纤维网使其熔融并延展,离开热辊后冷却,从而制备成无纺布。由于未牵伸的纤维达不到热辊这一步,所以此处仅探究热辊对无纺布的影响。

在探究热辊温度对无纺布的影响时,如果热辊的温度较高则会使纤维形成的纤网受热熔融形成片状材料,不再是无纺布,因此必须遵循温度从低到高的探究。固定工艺为2.2,2.3中得出的较优工艺,即第一加工区域温度为225 °C、第二加工区域温度为225 °C、第三加工区域温度为230 °C、第四加工区域温度为235 °C、机头温度为215 °C,计量泵转速为24 Hz。设定热辊温度分别为30,40,5,60 °C,其现象见表3。

表3 热辊温度对无纺布外观的影响

Tab. 3 Effect of hot roller temperature on appearance of nonwovens

Hot roller temperature/°C	Experimental phenomenon
30	Nonwoven has burrs that are not hot-rolled and formed, and they will spread out when they are pulled, and there is no embossing roller texture on the surface
40	Nonwoven is not easy to spread, and the burrs are reduced, and some of the textures are not obvious
50	Nonwoven is hot-pressed and molded, and the texture is more obvious
60	Nonwoven is formed, and the texture on the nonwoven is obvious, but there is a small amount of adhesive residue on the hot roller of the surface

不同温度所热轧成型的无纺布其厚度见表4,其中变异系数CV就由样品厚度标准差除以平均值得到,变异系数的大小反映了无纺布厚度的变化范围,变异系数越小,说明样品的厚度变化比较小,相应的产品质量参差越小^[17]。在FZT-64004-1991标准中,无纺布的厚度在0.1 cm以内时,其标准差比

表4 热辊温度对无纺布厚度的影响

Tab. 4 Influence of hot roller temperature on thickness of nonwovens

Hot roller temperature/°C	Average thickness /mm	Standard deviation/mm	CV/%
30	0.798	0.042	5.28
40	0.749	0.045	6.07
50	0.672	0.038	5.70
60	0.579	0.030	5.28

值小于7%则为一等品。由表4可知,所有温度下的变异系数都小于7%,所以这四个工况温度下都可以制备一等品的无纺布,但由于实验现象中发现50℃的无纺布纹路清晰,并且被热压成型,所以热辊温度优选50℃。

2.5 成品展示

优选PGA纤维及无纺布制备工艺参数下,所制备的PGA无纺布和牵伸前的PGA纤维以及牵伸后的PGA纤维样品图如图11所示。此工艺下所制备的无纺布物理性能优异、生产稳定性强,可在多领域替代常见不可降解无纺布。

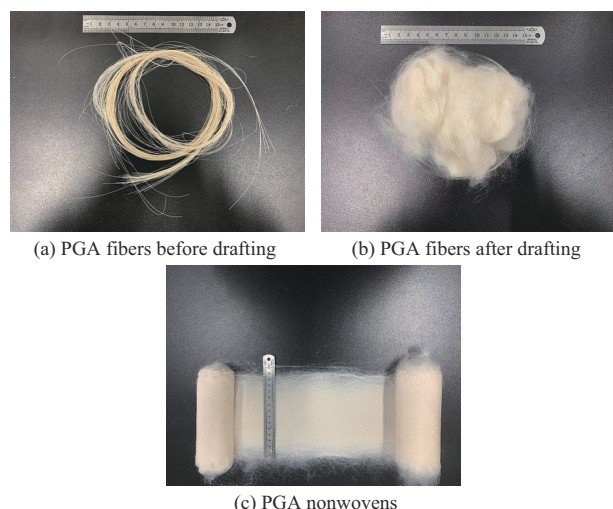


图11 牵伸前后的PGA纤维和PGA无纺布

Fig. 11 PGA fibers before and after drafting and PGA nonwovens

3 结论

(1) PGA的主要分解过程在352.56~392.57℃,最大分解速率温度 T_p 为372.87℃。PGA的MFR随温度的升高而升高,且在242℃时MFR达到51.68 g/10 min。PGA在热加工时达到200.06℃才能开始熔融,而244.80℃才能完全进入熔融状态。纺丝机温度设置需小于 $T_{50\%}$ 的温度,即小于333.84℃。

(2)通过探究加工温度、计量泵转速、热辊温度等工艺参数,实现PGA纤维和无纺布的连续制备。PGA纤维和无纺布的优选加工工艺参数为:第一加

工区域温度为225℃、第二加工区域温度为225℃、第三加工区域温度为230℃、第四加工区域温度为235℃、机头温度为215℃,计量泵转速为24 Hz,热辊温度为50℃。

(3)此优选工艺参数下未牵伸前的纤维直径为0.153 mm,线密度为258.38 dtex,拉伸强度为1.55 cN/dtex。此时的无纺布克重为335.52 g/m²,厚度为0.672 mm,拉伸强度为17.07 MPa,断裂伸长率为552.50%。超越常见传统材料制备的无纺布物理性能,制备的无纺布的厚度误差为5.70%,属于一等品。

参考文献

- [1] 王正祥.我国聚乳酸产业发展现状与对策研究[J].中国工程科学,2021,23(6):155-166.
WANG Zhengxiang. Research on the development status and countermeasures of polylactic acid industry in China[J]. Strategic Study of Chinese Academy of Engineering, 2021, 23(6):155-66.
- [2] 徐朝晨,吉鹏,王华平,等.纺织品微塑料危害控制技术发展研究[J].纺织导报,2021(1):48-54.
XU Chaochen, JI Peng, WANG Huaping, et al. Research on the development of textile microplastic hazard control technology[J]. Textile Herald, 2021(1):48-54.
- [3] 刘彩云,陈衍玲,王景,等.生物降解材料的性能及应用研究进展[J].塑料科技,2022,50(7):81-85.
LIU Caiyun, CHEN Yanling, WANG Jing, et al. Research progress on performance and application of biodegradable materials[J]. Journal of Plastics Science and Technology, 2022, 50(7):81-85.
- [4] 刘金凤,者东梅,杨勇,等.生物降解塑料的分类和应用研究进展[J].塑料科技,2024,52(1):117-123.
LIU Jinfeng, ZHE Dongmei, YANG Yong, et al. Research progress on classification and application of biodegradable plastics[J]. Journal of Plastics Science and Technology, 2024, 52(1):117-123.
- [5] 闫国春,温亮,张华.现代煤化工产业发展路径分析[J].化工进展,2022,41(12):6 201-6 212.
YAN Guochun, WEN Liang, ZHANG Hua. Analysis on the development path of modern coal chemical industry[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2022, 41(12):6 201-6 212.
- [6] 李彩虹.聚乙交酯纤维制备及其在不同环境下的降解行为研究[D].上海:东华大学,2022.
LI Caihong. Preparation of polylactide fiber and its degradation behavior in different environments[D]. Shanghai: Donghua University, 2022.
- [7] CHEN Shuliang, ZHANG Xin, HE Mingyang, et al. Degradation of PGA, prepared by reactive extrusion polymerization in water, humid, and dry air, and in a vacuum[J]. Journal of Materials

- Research, 2020, 35(14):1 846–1 856.
- [8] 鲁手涛,沈学红,周超,等.可降解高分子材料在医疗器械中的应用[J].工程塑料应用,2014,42(7):109–113.
LU Shoutao, SHEN Xuehong, ZHOU Chao, et al. Application of degradable polymer materials in medical devices[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(7):109–113.
- [9] 何晨光,高永娟,赵莉,等.静电纺丝的主要参数对PLGA纤维支架形貌和纤维直径的影响[J].中国生物工程杂志,2007(8):46–52.
HE Chenguang, GAO Yongjuan, ZHAO Li, et al. Effect of main parameters of electrospinning on morphology and fiber diameter of plga fiber scaffold[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2007(8): 46–52.
- [10] 冯泽华,郑凯,徐艳.聚己内酯静电纺丝纳米纤维基复合材料在口腔医学中的应用研究进展[J].南京医科大学学报(自然科学版),2023,43(8):1 180–1 184.
FENG Zehua, ZHENG Kai, XU Yan. Research progress on the application of polycaprolactone electrospun nanofiber matrix composites in stomatology[J]. Journal of Nanjing Medical University (Natural Science Edition), 2023, 43(8):1 180–1 184.
- [11] 刘旖旎,刘芳,王德宝,等.纳米抗菌纤维的静电纺丝制备技术及其抗菌活性研究进展[J].中国食品学报,2021,21(12): 358–368.
LIU Yini, LIU Fang, WANG Debao, et al. Research progress on electrospinning preparation technology and antimicrobial activity of nano antimicrobial fibers[J]. Chinese Journal of Food Science, 2021, 21(12):358–368.
- [12] FU B, HSIAO B, CHEN G, et al. A study of structure and property changes of biodegradable polyglycolide and poly(glycolide-co-lactide) fibers during processing and in vitro degradation[J]. Chinese Journal of Polymer Science (English Edition), 2003, 21 (2):159–167.
- [13] FU B., HSIAO B., CHEN G., et al. Structure and property studies of bioabsorbable poly(glycolide-co-lactide) fiber during processing and in vitro degradation[J]. Polymer, 2002, 43(20): 5 527 – 5 534.
- [14] 喻颖.聚乙交酯(PGA)纤维的制备及其结构与性能研究[D].上海:东华大学,2021.
YU Ying. Preparation of polylactide (PGA) fiber, its structure and properties[D]. Shanghai: Donghua University, 2021.
- [15] 何欢. PE/PET无纺布基电磁屏蔽膜及其PET组分分解研究[D].上海:东华大学,2022.
HE Huan. Study on PE/PET non-woven fabric-based electromagnetic shielding film and its PET component decomposition and polymerization[D]. Shanghai: Donghua University, 2022.
- [16] 赵广兴,严灏景.热轧非织造布黏合结构的形成[J].中国纺织大学学报,1992(6):1–9.
ZHAO Guangxing, YAN Haojing. Formation of adhesive structure of hot-rolled nonwovens[J]. Journal of China Textile University, 1992(6):1–9.
- [17] 杨钦.可降解复合纺粘切片及非织造布的制备工艺和性能研究[D].海口:海南大学,2015.
YANG Qin. Study on preparation process and properties of biodegradable composite spunbond chips and nonwovens[D]. Haikou: Hainan University, 2015.