

狭缝式熔体微分电纺流量控制与射流均匀性研究

杨涛, 何雪涛, 丁玉梅, 阎华, 杨卫民, 李好义

(北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029)

摘要: 采用自主设计的狭缝式熔体微分静电纺丝装置纺聚丙烯(PP)材料,研究了进料时挤出机转速与流量的关系以及流量大小对于出料均匀性的影响,并探究了不同流量下的纺丝射流效果。试验结果表明:PP料流量随转速的增大而增大,当转速达到 18 r/min 时,出料流量基本不变,此时料流量为 1.74 g/min,出料均匀性好,不随流量变化而变化;在纺丝电压 45 kV,电极板距离 90 mm,纺丝温度 230℃的工艺条件下,当转速为 12 r/min 即流量为 1.14 g/min 时,纺丝射流效果最好。

关键词: 静电纺丝; 流量; 聚丙烯; 均匀性

中图分类号: TQ340.1

文献标识码: B

文章编号: 1001-2044(2018)02-0019-03

DOI:10.16549/j.cnki.issn.1001-2044.2018.02.006

Flow control and jet uniformity of slit melt differential electrospinning

YANG Tao, HE Xuetao, DING Yumei, YAN Hua, YANG Weimin, LI Haoyi

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Based on self-made slit melt differential electrospinning device, polypropylene (PP) material is used to study the relationship between the extruder speed and the influence of the flow rate on the uniformity of the discharge. The spinning effect under different flow rates is investigated. The results show that the material flow rate of PP increases with the increase of rotating speed, when the speed reaches 18 r/min, the flow is basically unchanged and the maximal flow rate is 1.74 g/min. The uniformity of discharge does not change with the flow rate and keeps good uniformity. When the spinning voltage is 45 kV, the electrode distance is 90mm and the spinning temperature is 230℃, the spinning effect is best when the speed is 12 r/min or the flow rate is 1.14 g/min.

Key words: electrostatic spinning; flow; polypropylene; uniformity

纳米纤维具有比表面积大、孔隙率高等特殊的物化性能,可广泛应用于生物组织工程^[1-2]、传感器^[3]、纺织生物材料^[4]、光电材料^[5-6]等领域。静电纺丝是目前高效制备纳米纤维的方法之一,可用于制备不同形貌和性能的纳米纤维,拓宽了纳米纤维的应用领域。静电纺丝分为溶液电纺和熔体电纺,其中熔体电纺由于具有无毒、高效的特点而成为研究热点。熔体静电纺丝的基本原理是聚合物熔体在静电场的作用下克服表面张力从泰勒锥尖端形成射流,固化成丝后在收集装置获取纤维。

熔体电纺成为当前实现批量化生产纳米纤维的热点方法^[7],其中供料流量的精准可控性^[8]、出料的均匀性、泰勒锥的大小和分布,以及如何在满足可连续均匀纺丝的前提下继续提升纺丝效率,实现纳米纤维的批量化制备是熔体电纺研究中的难点。传统的熔体电纺装置大多为毛细管式,纺丝效率较低,而无针电纺大大提高了纺丝效率,是实现纳米纤维批量化制备的有

效方法,但目前对此的研究并不多。澳大利亚的 Fang^[9]提出盘式纺丝装置,提高了纺丝的效率,并制备出细度为(400±290)nm的纤维,但是该装置对熔体粘度要求高,还未实现批量化稳定可控生产。捷克的 Komarek 提出一种狭缝式的纺丝设备,这是一种无针电纺的较好选择,但试验发现选用材料粘度较低时,射流分布均匀,但粘度较高时,射流间距大且射流分布不均匀。此外还有点喷头^[10]、直线式^[11]、平面式^[12]等无针电纺设计,这些方法使得纺丝效率大大提高。

为了实现纳米纤维的批量化生产,保证无纺布面密度均匀性,本文自主设计了一种狭缝式熔体微分静电纺丝装置。采用树杈型流道设计,保证了出料的均匀性;采用锯齿引导,有利于泰勒锥的形成与均布。本文用聚丙烯(PP)材料对该装置进行试验,探究了出料流量及均匀性,并对比了不同流量下的纺丝效果。

1 试验部分

1.1 原料与仪器

原料为 PP6520,流动指数 2 000 min(上海伊士通新材料发展有限公司)。

自制狭缝式熔体微分静电纺丝装置示意图见图 1,其主要组成部分为单螺杆挤出机、进料筒、狭缝纺丝模块、锯齿、矩形带孔电极板等,锯齿两边开有小孔,与

收稿日期: 2017-06-05

基金项目: 北京市自然科学基金资助项目(2141002);国家重点研发计划(2016YFB0302000);国家自然科学基金(51603009)

作者简介: 杨涛(1992-),男,在读硕士研究生,主要从事熔体微分静电纺丝工艺的研究。

通信作者: 李好义。E-mail: lihaoyi-hoy@163.com。

狭缝出口处的小凸台间隙配合,拆装方便。该狭缝纺丝装置两边对称,可单挤出供料用于一种材料的纺丝,也可两边同时进料用于制备两种料共混纺丝。高压静电发生器电压为0~80 kV。

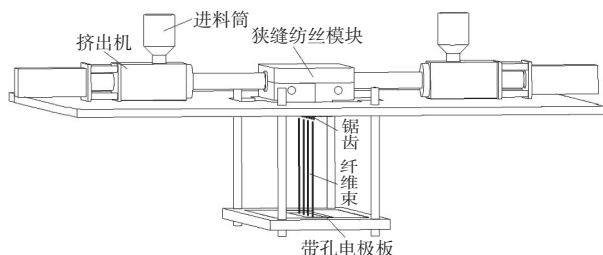


图1 狭缝式熔体微分电纺装置示意图

1.2 纺丝装置流量测试

采用单挤出进料,设置狭缝式熔体微分电纺装置挤出机端温度200℃,流道温度230℃,将PP粉料从一个进料口加入挤出机,塑化熔融后从狭缝出口流出,并

在狭缝出口下方80 mm处将其接收,接收时间为3 min。保持接收时间不变,调节挤出机转速,分别收集对应流出的料并称重。然后将每个样品的料沿着狭缝的幅宽方向分为5份,分别记为组分1#~5#,称取每一组分的质量。

1.3 PP静电纺丝

采用自制的狭缝式熔体微分电纺装置,单挤出进料,单电极纺丝,设置挤出机端温度200℃,流道温度230℃,纺丝电压45 kV,纺丝距离90 mm,将PP粉料从进料口加入挤出机塑化熔融,熔体从狭缝出口流出,经过锯齿后在高压静电场的作用下产生射流。

1.4 性能测试

采用BSM220.4型电子天平(上海卓精电子科技有限公司),测量流出的PP料质量,检定分度值1 mg。不同转速下的PP质量和流量见表1。

表1 不同转速下的PP质量和流量

转速/(r·min ⁻¹)	质量/g	流量/(g·min ⁻¹)	组分1#/g	组分2#/g	组分3#/g	组分4#/g	组分5#/g	组分方差
6	1.65	0.55	0.33	0.31	0.31	0.35	0.35	0.000 3
8	2.32	0.77	0.48	0.45	0.44	0.47	0.48	0.000 2
10	2.75	0.92	0.56	0.53	0.54	0.55	0.57	0.000 2
12	3.43	1.14	0.70	0.67	0.67	0.68	0.71	0.000 2
14	3.88	1.29	0.80	0.77	0.75	0.78	0.78	0.000 2
16	4.54	1.51	0.92	0.89	0.90	0.90	0.93	0.000 2
18	5.22	1.74	1.08	1.03	1.03	1.05	1.03	0.000 4
20	5.25	1.75	1.07	1.05	1.04	1.06	1.05	0.000 1
22	5.28	1.76	1.06	1.06	1.05	1.06	1.05	0.000 2

2 结果与分析

2.1 挤出机转速与出料流量的关系

从表1可见,当挤出机转速逐渐增大时,PP熔体的流量也逐渐增大;当挤出机转速小于18 r/min时,流量随转速成线性增长;但是当转速超过18 r/min时,流量增幅明显减小,最后维持不变。单螺杆挤出物料在均化段中主要有4种流动,分别为正流 $Q_{V,D}$ 、逆流 $Q_{V,P}$ 、横流 $Q_{V,T}$ 、漏流 $Q_{V,L}$ 。正流是旋转螺杆挤压形成的,逆流是阻力引起的压力梯度造成的,横流是垂直于螺纹壁的环形流动,对挤出量影响不大,漏流是压力梯度在螺杆与料筒间隙处所形成的倒流。挤出机的生产能力 $Q_V = Q_{V,D} - Q_{V,P} - Q_{V,L}$ 。当转速逐渐增大时,正流 $Q_{V,D}$ 增大,而型腔内并未充满PP料,逆流 $Q_{V,P}$ 和漏流 $Q_{V,L}$ 都很小,所以挤出机的生产能力 Q_V 逐渐增大;但当转速达到阈值18 r/min时,流道内部型腔逐渐充满

PP熔体,流动阻力增大,压力梯度增大,此时逆流 $Q_{V,P}$ 和漏流 $Q_{V,L}$ 都增大,则挤出机的生产能力 Q_V 基本保持不变;若继续增大转速,安装缝隙会出现PP料溢出的问题,此时PP熔体的出料流量已达饱和。

2.2 出料均匀性与流量大小的关系

从表1可见,每个转速下对应的5等份的PP料质量变化很小,不同转速对应的等份质量的方差也很小,组分质量很平均。这说明,出料随着流量的变化一直保持很好的均匀性,也说明了流道设计的合理性。树杈型流道将熔体均分流出,在阻尼槽处汇合后继续流出,保证了流料的均匀性,从而为纺丝的均匀性提供保障。

2.3 流量大小对纺丝效果的影响

在纺丝电压为45 kV,电极板距离为90 mm,纺丝温度为230℃条件下,3种不同转速下的射流照片见图2。

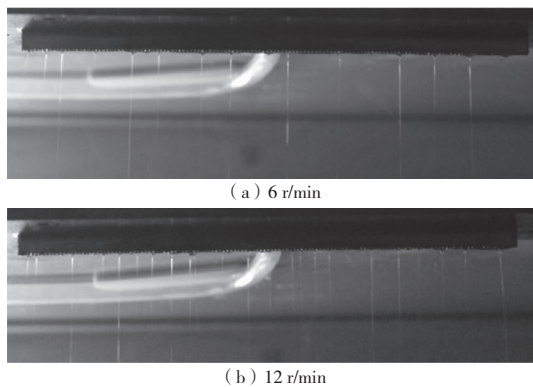


图2 不同转速下的射流照片

从图2可以看出,当转速为6 r/min时,流量较小,射流根数较少,在12根左右,单位时间制得的纤维较少;当转速为12 r/min时,流量增大,射流根数增加到25根左右,射流均匀稳定;当转速为18 r/min时,射流根数较多,在25根左右,但在锯齿右端和中间部分出现了小团熔体,其在纺丝过程中会连续滴落,粘在纤维上,影响纤维质量。试验得出的阈值流量是1.14 g/min,超过阈值流量后,就会出现熔体滴落现象。可见,较高的流量可以提高射流根数,但是流量过大反而会使射流效果变差,影响纤维的质量。

3 结语

(1) 出料流量随挤出机转速增大而增大,当转速达到18 r/min时,PP熔体在狭缝流道内部型腔内达到饱和,此时流量最大,为1.74 g/min,继续增大转速,流量基本不变。

(2) 出料均匀性一直很好,不随流量变化而变化,说明流道设计合理,有效解决了出料不均匀的问题。

(3) 流量较小时,射流根数较少,纺丝效率较低,流量较高时,射流根数较多,纺丝效率高,但是流量过大会出现严重的滴料现象,影响纺丝效果;当转速为12 r/min即出料流量为1.14 g/min时,射流根数较多而且纺丝效果好,为PP在该工艺下的最佳流量。

(上接第18页)

参考文献:

[1] 陈星雨,田孟超,庆桌亚.新型焗油人发漂白工艺的研究[J].毛纺科技,2015,43(2):35-39.
[2] 尚伟丽.假发在服装艺术中的应用研究[D].苏州:苏州大学,2008.
[3] 强西怀,冯洪燕,张辉.利用废弃羊毛制备蛋白型表面活性剂[J].皮革与化工,2010,27(6):6-8.
[4] 王永昌.制革废物综合利用实例[J].西部皮革,2005,27(4):56-

参考文献:

[1] DAN K, PRABHAKARAN M P, JIN G, et al.Guided orientation of cardiomyocytes on electrospun aligned nanofibers for cardiac tissue engineering[J].Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials,2011,98(2):379.
[2] YIN Z, CHEN X, CHEN J L, et al.The regulation of tendon stem cell differentiation by the alignment of nanofibers[J].Biomaterials,2010,31(8):2163.
[3] PERSANO L, DAGDEVIREN C, SU Y, et al.High performance piezoelectric devices based on aligned arrays of nanofibers of poly(vinylidene fluoride-co-trifluoroethylene)[J].Nature Communications,2013,4(3):1633.
[4] TEO W E, RAMAKRISHNA S.A review on electrospinning design and nanofibre assemblies[J].Nanotechnology,2006,17(14):89.
[5] CHEN D, MIAO Y, LIU T.Electrically conductive polyaniline/polyimide nanofiber membranes prepared via a combination of electrospinning and subsequent in situ polymerization growth[J].Acs Applied Materials & Interfaces,2013,5(4):1206.
[6] CHEN D, WANG R, WENG W T, et al.High performance polyimide composite films prepared by homogeneity reinforcement of electrospun nanofibers[J].Composites Science & Technology,2011,71(13):1556-1562.
[7] CHU B, HSIAO B S, FANG D.Apparatus and methods for electrospinning polymeric fibers and membranes:6713011[P].2004-3-30.
[8] 杨卫民,李好义,吴卫逢,等.熔体静电纺丝技术研究进展[J].北京化工大学学报(自然科学版),2014,41(4):1-13.
[9] FANG J, ZHANG L, SUTTON D, et al.Needleless melt-electrospinning of polypropylene nanofibres[J].Journal of Nanomaterials,2012(3):16.
[10] 刘呈坤.静电纺丝技术的研究进展[J].合成纤维工业,2012,35(2):53-56.
[11] SHIMADA N, TSUTSUMI H, NAKANE K, et al.Poly(ethylene-co-vinyl alcohol) and Nylon 6/12 nanofibers produced by melt electrospinning system equipped with a line-like laser beam melting device[J].Journal of Applied Polymer Science,2010,116(5):2998-3004.
[12] YARIN A L, ZUSSMAN E.Upward needleless electrospinning of multiple nanofibers[J].Polymer,2004,45(9):2977-2980.

57.

[5] 王杰兴.工业废弃羊毛制备皮革填充剂的研究[D].烟台:烟台大学,2014.
[6] 贾济如,姚金波.废弃羊毛角蛋白循环利用研究的最新进展[J].毛纺科技,2015,43(1):45-49.
[7] 李汝雄.绿色溶剂:离子液体的合成与应用[M].北京:化学工业出版社,2004.