

微轮廓挤出成型研究^{*}

王 洪^{1,2} 傅志红³ Yao Donggang⁴

(1. 广东高校半导体照明工程技术研究中心, 广州 510640; 2. 华南理工大学理学院, 广州 510640; 3. 中南大学机电工程学院, 长沙 410083; 4. School of Polymer, Textile & Fiber Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta 30332, USA)

摘要 在毛细管流变仪上对微轮廓的挤出成型过程中的形变进行了实验研究, 所采用的微轮廓口模孔分别为三叶形和椭圆形, 试验原材料为纤维级聚丙烯。结果表明, 在微轮廓的挤出成型中, 挤出物轮廓形状发生了明显的变化, 微轮廓尺寸随挤出速度的增加而增大, 随挤出温度的升高而增大, 随拉伸速度的增加而减小; 采用水冷却有利于减小形变; 三叶形轮廓的叶片在宽度方向的形变要远大于长度方向, 椭圆形轮廓的形变在短轴方向大于长轴方向。

关键词 微挤出 聚合物微加工 形变 机头口模孔

微机电系统(MEMS)经过十几年的发展,已经成为世界瞩目的重大科技领域之一,并在医疗、信息、汽车工程、自动化等领域得到了应用。据有关资料介绍, MEMS 的市场每年以 20% 的速度增长^[1]。近年来, 将常用的聚合物成型技术如注射、模压和挤出应用于微型零件的加工成为研究的热点^[2-4]。其中, 注射成型和模压成型已经成功地应用到微成型技术^[4], 微注射成型技术以其容易实现低成本大规模生产具有精密微细结构零件的优点而成为世界制造技术的研究热点之一。但是, 对于应用于生物技术、通讯工业等领域的某些精密微型零件如微悬臂梁、异形光学微波纤维和高毛细管作用的导管等, 由于这些微型零件的长宽比非常大, 通过微注射成型非常困难, 效率非常低。如果能够将在聚合物工业中广泛应用的成熟的挤出成型应用于这些微型零件的加工则可能会具有非常高的效率。

在常规挤出中, 制品的轮廓形状只受到挤出膨胀的影响, 与机头口模的形状是成比例地放大的^[5], 但是由于一阶尺寸缩放效应的作用, 微轮廓挤出成型的微轮廓形状与机头口模的形状并不是成比例放大的, 所以直接将挤出成型用于微细形貌的加工则要非常困难。与微轮廓挤出成型相近的领域是纤维熔融纺丝。在熔融纺丝中, 聚合物熔体从机头喷丝孔中挤出后快速拉伸并冷却以减小纤维直径和提高强度。虽然纤维的截面形状与喷丝孔通常明显不同, 但是采用异形喷丝孔能够得到异形纤维。但在大多数的应用场合, 如果仅仅是表观、触感和表面特性如截面形状的改变是可以接受的。事实上, 对纤维纺丝来说, 生产速率通常作为评判一个生产过程的主要标准。在纤维生产中, 拉伸速度超过每

分钟数千米是常见的, 所以直接利用熔融纺丝技术来生产精密微细形貌的制品是困难的。

所以, 在微轮廓挤出成型中, 研究微轮廓截面形状的变化及变化机理是非常重要的。笔者已经对微轮廓的形变机理进行了研究和模拟数值仿真^[6], 研究表明, 在微轮廓挤出成型中, 影响形变的因素主要为表面张力和挤出膨胀, 其中表面张力是影响形变的主要因素, 而挤出膨胀只影响尺寸的增大而不是形状的变化。但是在数值仿真中, 由于提出了一些假设条件, 所以与实际情况并不完全一致。因此, 笔者对三叶形和椭圆形微轮廓截面的挤出成型进行了实验研究。

1 实验部分

1.1 原材料

纤维级聚丙烯: 美国菲纳石油化学公司。

1.2 设备及仪器

毛细管流变仪(相同于活塞式挤出机): Dynisco LCR 7001 型, 美国 Dynisco Instruments 公司;

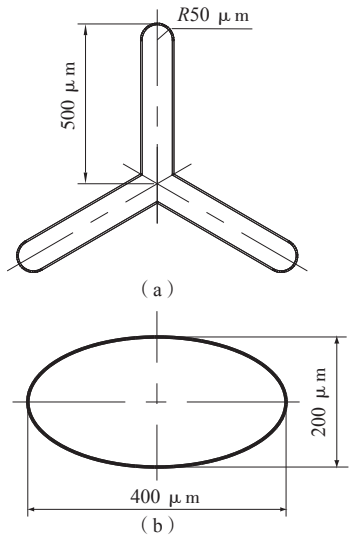
扫描电子显微镜(SEM): Hitachi - 800 型, 日本日立仪器公司。

1.3 挤出机头口模

实验中, 机头口模分别采用三叶形和椭圆形。图 1 为机头口模孔的尺寸。三叶形口模的尺寸如图 1a 所示, 每叶的尺寸为宽 100 μm , 高 500 μm 。椭圆形口模的尺寸如图 1b 所示, 长径为 400 μm , 短径为 200 μm 。口模材料为模具钢, 孔采用电火花加工方法加工, 图 2 为两种口模的实物外观照片。

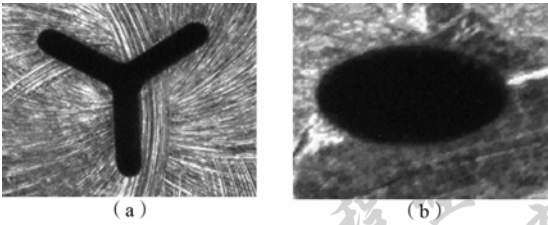
^{*} 广东省教育部产学研结合项目(2007B090400013)、广州市科技攻关重点项目(2007Z2 - D9101)

收稿日期: 2009-06-30



a—三叶形口模; b—椭圆形口模

图 1 机头口模孔的尺寸



a—三叶形口模; b—椭圆形口模

图 2 机头口模外观照片

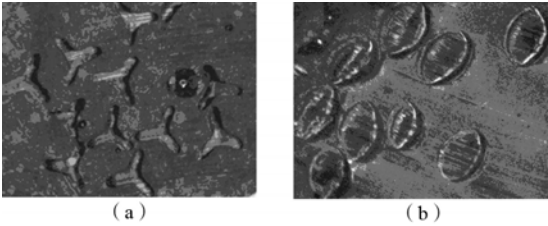
1.4 实验方法

分别在不同的挤出速度、温度和拉伸速度下进行实验, 并对挤出物分别进行自然冷却和水冷却。将挤出微轮廓制品置于树脂胶中固化后切片, 然后对切片截面的 SEM 照片进行分析。

2 结果与讨论

2.1 挤出微轮廓的 SEM 照片

图 3 示出挤出微轮廓的 SEM 照片。从图 3 可知, 挤出轮廓与机头口模孔相比较, 发生了明显的变形。

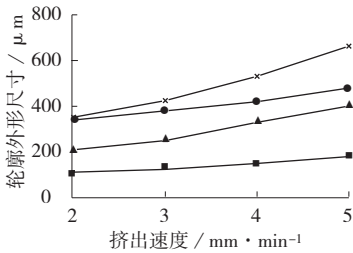


a—三叶形口模; b—椭圆形口模

图 3 挤出微轮廓的 SEM 照片

2.2 挤出速度对微轮廓形变的影响

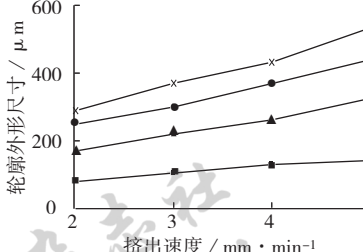
图 4、图 5 分别为在挤出温度 230℃、拉伸速度 10 mm/s、自然冷却及水冷却条件下挤出轮廓的尺



■—三叶形轮廓叶片宽度; ●—三叶形轮廓叶片高度;
▲—椭圆形轮廓短径; ×—椭圆形轮廓长径

图 4 微轮廓外形尺寸随挤出速度的变化

(挤出温度: 230℃, 拉伸速度: 10 mm/s, 自然冷却)



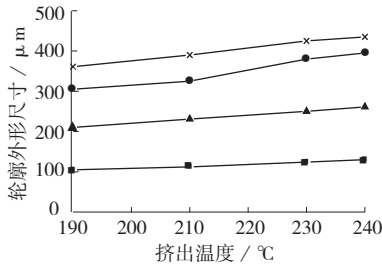
■—三叶形轮廓叶片宽度; ●—三叶形轮廓叶片高度;
▲—椭圆形轮廓短径; ×—椭圆形轮廓长径

图 5 微轮廓外形尺寸随挤出速度的变化

(挤出温度: 230℃, 拉伸速度: 10 mm/s, 水冷却)

寸随挤出速度的变化图。由图 4、图 5 可知, 随着挤出速度的增加, 挤出轮廓的尺寸增大。在其他条件相同的情况下, 采用水冷却的挤出物轮廓尺寸要小于自然冷却时的尺寸。这是因为较快的冷却速率抑制了表面张力和挤出膨胀的作用。

图 6、图 7 分别为在挤出速度 3 mm/min、拉伸速度 10 mm/s、自然冷却及水冷却条件下挤出轮廓的尺寸随挤出温度的变化图。由图 6、图 7 可知, 随着挤出温度的增加, 挤出轮廓的尺寸增大。在其他条件相同的情况下, 采用水冷却的挤出物轮廓尺寸要小于自然冷却时的尺寸。



■—三叶形轮廓叶片宽度; ●—三叶形轮廓叶片高度;
▲—椭圆形轮廓短径; ×—椭圆形轮廓长径

图 6 微轮廓外形尺寸随挤出温度的变化

(挤出速度: 3 mm/min, 拉伸速度: 10 mm/s, 自然冷却)

图 8、图 9 分别为在挤出速度 3 mm/min、挤出温度 230℃、自然冷却及水冷却条件下挤出轮廓的尺寸随拉伸速度的变化图。由图 8、图 9 可知, 随着

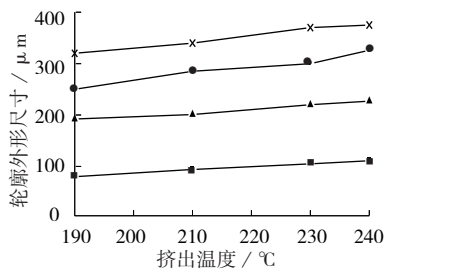


图7 微轮廓外形尺寸随挤出温度的变化

(挤出速度: 3 mm/min, 拉伸速度: 10 mm/s, 水冷却)

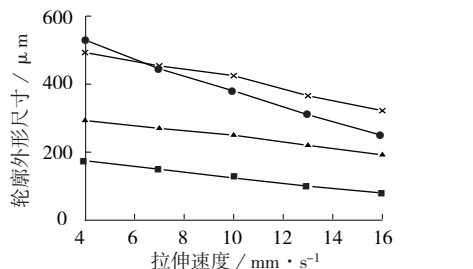


图8 微轮廓外形尺寸随拉伸速度的变化

(挤出速度: 3 mm/min, 挤出温度: 230 °C, 自然冷却)

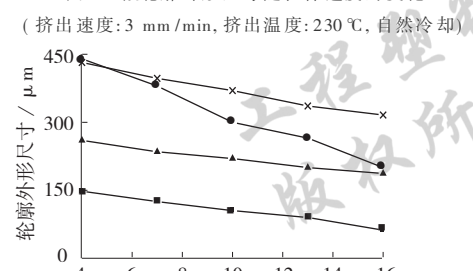


图9 微轮廓外形尺寸随拉伸速度的变化

(挤出速度: 3 mm/min, 挤出温度: 230 °C, 水冷却)

拉伸速度的增加, 挤出轮廓的尺寸减小。在其他条件相同的情况下, 采用水冷却的挤出轮廓尺寸要小于自然冷却时的尺寸。

不管在什么样的挤出参数下, 采用水冷却的挤出轮廓尺寸要小于自然冷却时的尺寸, 而且轮廓截面形状与挤出口模孔的形状基本一致, 这是因为较快的冷却速率抑制了表面张力和挤出膨胀的作用。

三叶形轮廓叶片的长宽比大约在 3 左右, 而三叶形口模叶片的长宽比为 5, 所以三叶形挤出截面在宽度方向的形变要大于长度方向。椭圆形轮廓的长径与短径之比约为 1.68, 而椭圆形口模孔的长径与短径之比基本为 2, 说明椭圆形轮廓挤出成型时的形变在短轴方向大于长轴方向。

3 结论

(1) 在微轮廓的挤出成型中, 与机头口模孔的形状相比较, 挤出轮廓形状发生了明显的变形。

(2) 挤出微轮廓尺寸随挤出速度的增加而增大, 随挤出温度的升高而增大, 随着拉伸速度的增加而减小。在其他条件相同的情况下, 采用水冷却的挤出轮廓尺寸要小于自然冷却时的尺寸。

(3) 三叶形轮廓叶片在宽度方向的形变要远大于长度方向, 椭圆形轮廓的形变在短轴方向大于长轴方向。

参考文献

- [1] Michaeli W, Opfermann D. Micro assembly injection moulding[J]. Microsystem Technologies, 2006, 12(7): 616-619.
- [2] Rotting O, Ropke W, Becker H, et al. Polymer microfabrication technologies[J]. Microsystem Technologies, 2002, 8(1): 32-36.
- [3] Gates B D, Xu Q, Stewart M, et al. New approaches to nanofabrication: molding, printing, and other techniques[J]. Chem Rev, 2005, 105(4): 1171-1196.
- [4] Hecke M, Schomburg W K. Review on micro molding of thermoplastic polymers[J]. J Micromechanics and Microengineering, 2004, 14(3): 1-14.
- [5] Rauwendael C. Polymer Extrusion[M]. Munich: Hanser Publishers, 2001.
- [6] 傅志红, 王洪, Yao D G. 微轮廓挤出形变机理的研究[J]. 中国塑料, 2009, 23(3): 66-69.

RESEARCH ON MICROPROFILE EXTRUSION

Wang Hong^{1,2}, Fu Zhihong³, Yao Donggang⁴

(1. Center for Guangdong LED Lighting Engineering, Guangzhou 510640, China; 2. School of Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 3. College of Mechanical & Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China; 4. School of Polymer, Textile & Fiber Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta 30332, USA)

ABSTRACT The shape change of microprofile in extrusion was investigated using a capillary rheometer. The shapes of die orifice were trilobal and elliptical respectively, and the material was fiber-grade polypropylene. The research result showed that during the extrusion of microprofile, the shape of extrudate deviated greatly from the die orifice. The size of extrudate was increased with the increasing of extruding speed and temperature, while it was decreased with the increasing of drawing speed. Water-cooling was benefit for reducing shape change. Shape change of trilobal leaf in direction of width was much larger than that in the direction of length, and the shape change in the direction of minor diameter was larger than in the direction of major diameter.

KEYWORDS microprofile extruding, polymer microfabrication, shape change, die orifice