

微注射成型中聚合物熔融塑化技术*

蒋炳炎 吴旺青 胡建良 沈龙江

(中南大学机电工程学院,长沙 410083)

摘要 阐述了聚合物熔融塑化技术在微注射成型中的重要性,比较、分析了当前出现的柱塞式塑化、螺杆式塑化、电磁动态塑化及超声塑化等4种聚合物的熔融塑化方式,展望了未来微注射成型中聚合物熔融塑化技术的发展趋势。

关键词 微注射成型 聚合物 熔融塑化

机电系统(MEMS)技术在光电通讯、影像传输、生化医疗、信息存储、精密机械等高科技领域的广泛应用,势必成为21世纪最热门的先进制造技术之一。微注射成型技术以其容易实现低成本、大规模商业化生产及所用聚合物材料具有良好的性能等优势而逐渐成为MEMS技术得以推广应用的关键技术之一,受到市场的格外青睐^[1-2]。然而微注射成型技术的发展也遇到了诸多挑战,主要表现在对聚合物熔体塑化质量要求苛刻及微尺度型腔充填困难等,所以研究开发最佳的聚合物熔融塑化方式,提高聚合物熔体质量和流动性势在必行,因此对微注射成型中聚合物熔融塑化技术的分析研究是十分必要的。

1 聚合物熔融塑化过程的重要性

聚合物熔体的塑化质量和流动性能显著影响注射成型制品的成型过程。虽然微注射成型的一次注射量很小(一般为几毫克),但对塑化质量要求很高,塑化中的任何非常细微的瑕疵(如硬质点、塑化不均等)都可能在微米级的成型制品中形成致命缺陷。同时,它与大家所熟悉的普通注射成型的不同之处主要在于:微注射成型中流道浅、型腔小,熔体在充填过程中冷却快,流动阻力大,充填困难,易出现充填不足等缺陷。目前人们普遍采用高的注塑压力(大于等于200 MPa)、高的注射速率(500~1500 mm/s)和高的模具温度[大于成型材料的玻璃化转变温度(T_g)]等方法来解决上述困难^[3-6],这使得微注射成型设备的成本急剧上升,产品经济性下降。较理想的情况是改变模温控制方法与提高聚合物熔体的充填性能相结合,在较低的注塑压力和注射速率下实现制品的注射成型。笔者系统研究了改变模温控制方法,现主要从提高聚合物熔体塑化质量和充填性能的角度出发来研究聚合物材料的熔融塑化方法,以实现新型节能、高效及低成本的聚合物塑化微注射成型技术。

2 聚合物熔融塑化方式

在注射成型过程中,聚合物材料的熔融塑化过程主要是通过塑化部件来完成的。塑化部件的性能显著影响聚合物的熔融速率和塑化质量,进而对制品的成型过程、生产效率及最终产品质量产生重要影响。同时,塑化部件的性能也是衡量注塑机性能的重要指标。针对微注射成型物料塑化的特殊要求,国内外学者对注射成型中聚合物材料的塑化方式

进行了广泛的研究与开发,目前主要有柱塞式塑化、螺杆式塑化、电磁动态塑化及超声塑化4种。

2.1 柱塞式塑化

柱塞式塑化注射机构是最早期的设计,其原理为由柱塞将物料推进压缩,绕经分流梭由喷嘴注入模具型腔中。分流梭的作用是将塑料熔体分散于料筒内部表层,以改善加热条件,保持物料温度的均衡,加之其剪切和混炼作用,使塑化料筒更好地塑化物料,如图1所示。而二段式的柱塞-柱塞预塑化式注射机构为使用一支柱塞先对物料进行塑化,再经由熔体通道将熔体注入注射料室中,由另一注射柱塞进行注射动作。其优点在于塑化量极小,且具有塑化物料先进先出的理念,不易产生降解现象,如图2所示。柱塞式塑化聚合物物料的热量绝大部分来自料筒外部加热器,只有一小部分才是注射柱塞推进物料的剪切热和摩擦热,因而混料性能差、塑化效果欠佳。因此当物料中需添加色母料来改变物料颜色时,由于混料效果较差,不宜采用柱塞式塑化机构。另外,采用柱塞塑化物料时,其背压较难控制,这对计量的精确度有一定程度的影响。目前柱塞式塑化在常规注塑机中也很少采用。但由于可以采用小尺寸柱塞,从而具有一次塑化量很小的优势,在部分微注塑机中仍然采用,如西班牙Cronplast公司研发的Babyplast 6/10机型和美国Medical Murray公司的SESAME机型。

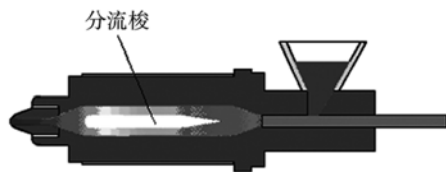


图1 柱塞式塑化注射机构

2.2 螺杆式塑化

螺杆式塑化预塑时,螺杆在被加热的料筒中旋转,使物料得到塑化、混合和输送,聚合物物料在螺杆剪切热和料筒

* 国家自然科学基金资助项目(50475140)、教育部科学技术研究重点资助项目(107086)、中南大学研究生教育创新工程项目(2006)

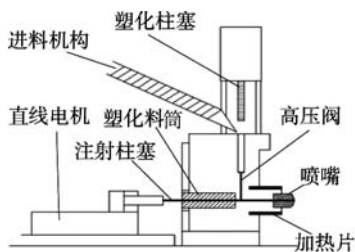


图2 柱塞-柱塞预塑化式注射机构

被加热的双重条件下,得到质量较为均一的聚合物熔体。螺杆式塑化所用的微注射机构根据其结构特点可分为螺杆柱塞混合式和往复式螺杆两类。螺杆柱塞混合式机构如图3所示,因其塑化机构与注射机构分离,塑化螺杆仅实现塑化功能,而不做注射动作,因此对物料混炼的效果较佳,熔体塑化质量较好。此外,熔体计量动作由注射柱塞执行,因注射柱塞前端无止逆环结构,不会产生熔体的误差量,故计量精确。若搭配全电气式伺服控制系统,在控制精度要求可达到0.01 mm 以下水平时,可完全满足微注射成型工艺的需求。但因其塑化机构与注射机构分离,必须要设有一连接机构来连接这两个机构,这样才能顺利传送熔体,势必造成微注射单元结构及控制的复杂程度急剧增加。

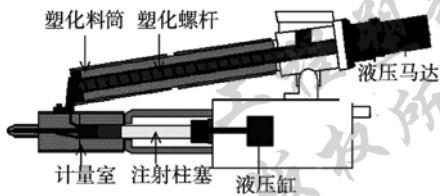


图3 螺杆柱塞混合式机构

往复式螺杆机构如图4所示,为目前使用最多的塑化注射机构,其结构简单,因注射动作的旋转、直线运动均在同一支螺杆上完成,因此控制容易。但由于注射螺杆前端设置止逆环结构,导致注射时会产生一误差量,从而无法满足微注射成型过程所要求的精密计量要求,因而不宜用于微注射成型设备中的塑化注射机构。另外,螺杆式的塑化效果虽然较柱塞式好,但对于微注射成型中微小注射量的要求,也存在着小尺寸螺杆加工难度大、使用寿命有限、塑化时间较长、一次塑化量太大、塑料在高温料筒中停留时间过长而易发生裂解等问题。

但是,目前大部分的微注塑机大都采用螺杆柱塞混合式塑化注射机构,如英国 MCP 公司的 12/90HSP 机型、日本 Sodick 公司的 TR18S3A 机型及奥地利 Battenfeld 公司的 Microsystem 50 机型等。

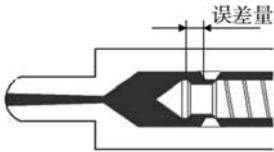


图4 往复式螺杆机构

2.3 电磁动态塑化

将振动力场引入到聚合物熔体之中,使聚合物熔体产生振动,可以改变聚合物熔体的流动状态,从而达到控制制品的微观结构,通过控制形态结构可在不添加任何塑料助剂的情况下提高制品的力学性能,并且不同的加工机理和加工条件将直接影响制品的结构和性能^[7-10]。华南理工大学瞿金平教授基于这一理念提出了将低频电磁振动力场引入聚合物材料熔融塑化成型的全过程,并发明了电磁动态注塑机^[11],如图5所示。相比较而言,电磁动态注塑机与普通螺杆式注塑机的塑化部件结构基本相同,只是前者在螺杆的轴向叠加了一个低频振动,使聚合物熔体同时受到沿螺杆径向和轴向的双重剪切作用,从而得到塑化质量较螺杆式塑化更加均一的聚合物熔体。但目前还没有该设备在微注射成型领域应用的相关报道。

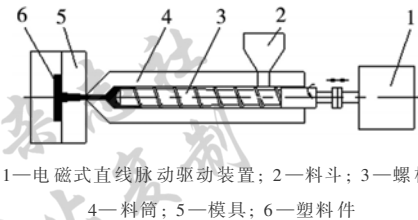


图5 塑料动态注塑机结构示意图

2.4 超声塑化

高能超声振动加工技术在聚合物成型加工中的应用研究已引起国内外的广泛关注,欧盟的 ULTRA-MELT 机构、四川大学、湖北工业大学等国内外研究机构在这一领域进行了深入的研究。结果表明,经超声振动作用的聚合物熔体粘度显著降低,流动性能明显提高,注射成型过程中能显著降低注塑压力、模具温度,从而解决了注射成型过程中的高能耗问题^[12-14]。采用超声塑化方式就是为了将超声振动对聚合物熔体的积极作用直接引入到塑化机构中,以期在聚合物塑化阶段即获得高质量的聚合物熔体。超声塑化就是根据塑料超声焊接的原理,在一定的压力下利用超声工具头的超声频振动产生的剧烈摩擦效应、高剪切速率和超声空化效应来熔融塑化聚合物物料的。

目前聚合物超声塑化的机理及其在微注射成型中的应用正在研究之中,还不是很完善。在理论研究方面,德国 Freiburg 大学微系统中心的 Christian Brethauer 等^[15]通过仿真和实验研究了超声振动作用于聚合物的熔融塑化机理。研究表明,利用超声振动可以使聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)在低于其 T_g (100℃)下熔融塑化。在实验研究方面,德国亚琛大学 IKV 研究所的 W. Michaeli 等^[16]开发了一套超声塑化系统,如图6所示。他们利用该装置对聚合物进行微量塑化实验,以满足微注塑机中新型塑化单元的需要。研究结果表明,采用超声波塑化的聚合物具有良好的均质性,十分适合于微注射成型中聚合物的塑化。

湖北工学院应继儒教授通过研究振动对聚合物的体积效应、剪切塑化作用构建了新型熔融塑化理论,并根据塑化

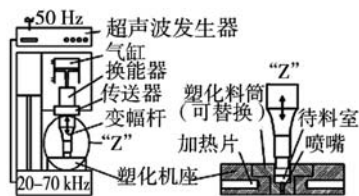
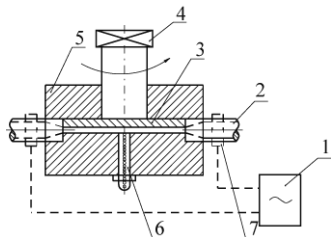


图 6 IKV 研究所的超声塑化系统

原理设计了多功能流变性能测试装置,如图 7 所示。该装置通过超声波振动作用、微磨的剪切作用使聚合物熔体达到了较好的塑化效果^[14]。



1—超声波发生器;2—聚合物熔体驱动装置;
3—高剪切微磨;4—止推轴承;5—塑化器;
6—毛细管容纳腔(或注射喷嘴);7—超声波作用块(头);

图 7 新型塑化装置原理示意图

表 1 列出了上述几种塑化方式的优缺点比较。

表 1 不同塑化方式的优、缺点比较

项目	柱塞式塑化	螺杆式塑化	电磁动态塑化	超声塑化
优点	柱塞结构简单,加工方便,可适用注范围较宽	螺杆既可用于塑化,也用于注射,而且熔体塑化质量较高,控制简单	熔体塑化质量较螺杆塑化质量高,能直接影响到制品质量	塑化熔体更加均一,流动性好,且有望实现低温、低压微注射成型
缺点	混料性能较差,聚合物熔体塑化质量不高	止逆环影响计量精度,小尺寸螺杆加工难度大、寿命短	结构复杂,同样存在小尺寸螺杆难加工等问题	相关理论体系及装备均不完善,有待进一步研究开发

3 结语与展望

微注射成型制品的质量取决于其成型过程,研究聚合物熔融塑化技术的目的就是要在成型的最初阶段获得高质量、高流动性的聚合物熔体,提高制品的成型质量。微注射成型中的充填困难等工艺难题,极大地促进了聚合物熔融塑化技术的发展,而熔融塑化技术的研究成果也将在工程塑料的注射成型、金属和陶瓷粉末的注射成型中具有重大应用价值,

包括实现难以流动的高性能工程塑料的注射成型,解决粉末注射成型喂料、熔体流动困难及拓宽注射成型的应用领域等。未来一段时间内微注射成型中聚合物熔融塑化技术的研究发展趋势主要体现在以下几个方面:

- (1) 考虑到微注射成型注射量很小,充分结合柱塞式塑化适应注射量范围较宽和振动塑化熔体质量高、流动性好等优点,在微注射成型中采用超声塑化是一个较好的思路;
- (2) 在完善现有的聚合物熔融塑化方式的同时,开发新型节能、高效和低成本的方法;
- (3) 将微注射成型中的聚合物熔融塑化技术研究成果推广到普通塑料注射成型、超高分子量聚乙烯等难流动的高性能工程塑料的注射成型以及金属和陶瓷粉末的注射成型中,充分发挥新型聚合物熔融塑化技术的应用价值,拓宽注射成型的应用范围和提高注塑制品的综合性能,从而推动聚合物熔融塑化技术研究更快的发展。

参考文献

[1] Yao Donggang, et al. Journal of Injection Molding Technology, 2002, 6(1): 11-17.

[2] Eberle H. Kunststoffe Plastic Europe, 1998, 88(9): 9-10.

[3] Hecke M, et al. J Micromech Microeng, 2004, 14: 1-14.

[4] 宋满仓,等.中国塑料,2003,17(9): 6-10.

[5] 蒋炳炎,等.中国塑料,2006,20(3): 99-102.

[6] Julien Giboz, et al. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2007, 17: 96-109.

[7] Chan T W, et al. Polymer Engineering and Science, 1994, 34(6): 461-471.

[8] Titomanlio G, et al. International Polymer Processing, 1997, 12(1): 45-53.

[9] Huang Tao, et al. Polymer Engineering and Science, 2000, 40(8): 1796-1808.

[10] Isayev A I. J Appl Polym Sci, 1995, 55(2): 821-837.

[11] 瞿金平,等.化工学报,2006,57(2): 414-423.

[12] <http://www.ultra-melt.com>

[13] 陈英姿,等.中国塑料,2004,18(12): 45-50.

[14] 应继儒,等.塑料工业,2003,31(7): 46-48.

[15] Christian Brethauer, et al. Particle based modeling of ultrasonic plastification with a yield-stress fluid (simulation and experiments) [C] // Proceeding of Multiscale Materials Modeling Third International Conference. Freigurg: [s. n.], 2006: 917-920.

[16] Michaeli W, et al. Microsystem Technologies, 2002(8): 55-57.

POLYMER MELT PLASTIFICATION TECHNOLOGY IN MICRO INJECTION MOLDING

Jiang Bingyan, Wu Wangqing, Hu Jianliang, Shen Longjiang

(College of Mechanical and Electrical Engineering of Central South University, Changsha 410083, China)

ABSTRACT The significance of polymer melt plastification technology in micro injection molding was expatiated, several polymer plastification technologies in micro injection molding, including plunger plastification, screw plastification, electromagnetism dynamic plastification, and ultrasonic plastification were analysed and compared. The development trend of polymer plastification technology was prospected.

KEYWORDS micro injection molding, polymer, melt plastification