

精密注射成型技术的研究进展

陈占春 李志平 严 正

(四川大学高分子科学与工程学院,成都 610065)

摘要 介绍聚合物材料的精密注射成型技术,论述影响精密注射成型的因素,包括模具的精度、注塑机的控制精度、精密注射工艺控制和其它一些计算机控制技术。分别对这些因素进行分析讨论,并给出了相关的解决方法,最后介绍了一些先进的模型成型技术。

关键词 精密注射 注塑机 精密注射工艺 精密注射模具

近年来,随着电子、电信、医疗、汽车等行业的迅速发展,对塑料制品的高精度、高性能要求与日俱增,促使精密成型技术不断地进步,新的技术不断地涌现。精密注射成型要求制品不仅具有较高的尺寸精度、较低的翘曲变形、优良的转写性,而且还应有优异的光学性能等^[1]。注射成型是最重要的塑料成型方法之一,包括塑料的塑化、注射、保压、冷却等几个基本的过程,因此影响精密注射成型的因素也很多。

1 精密模具

要制造出精密的制品,精密模具是必不可少的。模具的精度一般受模具的温度控制、模具的精密制造和模具设计时对塑料收缩率选用等影响。

1.1 模具温度的精密控制

在一般精度零件的注射成型中,控制模具温度主要是为了提高生产率。然而模具温度控制对精密注射成型的影响极大^[2],它影响制品的收缩、形状、结晶、内应力等,因此设计模具冷热回路时要求温度分布合理,控制精度精确,最好采用模温机和冷水机控制。模具温度控制和冷却时间对制品性能的影响及其影响因素如下^[3]:

(1) 塑料熔体注入和模具开模的循环时间 二者会在模具中产生温度差的波动,因此应该尽量减小这种波动差峰。

(2) 模具内的热量转移 模具的热量是通过模具体和模具内的媒体传递出去的,模具是不变的,因此对媒体的控制是关键,一般其冷却水出入口温度差小于 1℃,应用平均温度理论来计算^[4],这样能够保证热量传递的稳定性。媒体的流量和热量转移是相互联系的,可以用模具表面温度传感器来控制媒体流量,以补偿因环境温度变化引起的模具温度变化。

(3) 模具稳定状态 为使模具所吸收和散发的热量保持平衡,注塑机注射出的熔体要严格保持稳定的温度。模具周围的温度对模具也有很大的影响,一般会影响到模具内媒体对流系数的变化,因此最好在模具表面设置温度传感器,随时观察模具表面温度,并使其保持稳定。

(4) 热交换效率的变化 模具用久后,在冷却水管道中会出现锈斑和水垢,这时交界面的热导率降低,应对水垢及时清除。

1.2 精密模具的设计与制造

模具设计的好坏是保证塑料制件尺寸精度的前提,为了提高精密注塑模的精度,在设计过程中采用计算机辅助分析是必要的,特别是对浇注系统的流动行为和模具温度调节系统热量分布的分析等。应尽可能地应用分析模拟软件并利用接近实际的加载条件来分析模拟熔体在模具中的浇注、冷却等非稳态的过程。

模具的制造质量是保证塑料制件尺寸精度的关键,精密模具主要的制造特点是除了抛光和装配作业外,均不用手工加工。一般模具机械加工和手工加工的比例约为 6:4~7:3,而精密模具的机械加工和手工加工比例为 9:1。

模具材料和热处理是模具精度的保障,在成型加工过程中,模具处于高温状态,因而即使对模具零件采用低温回火,生产时高温熔体又会对零件进行重复回火而使硬度降低,同时还应考虑残留奥氏体所引起的体积膨胀。因此一般回火温度至少应是成型加工时模具温度的两倍以上,并适当地进行低温处理以便消除残余奥氏体。

对高精度制品,要求模具成型零件的精度、组合件累计精度、模具导向件的对中精度以及分型面的平行度应该达到微米级。模具应有足够的强度、刚度和耐磨性,在注塑压力下不易变形、磨损。要达到以上的加工精度可采用立体加工中心、数控机床和应用 CAD/CAM/CAE 等新技术。

1.3 精密模具设计时物料收缩率的选用

热塑性塑料制品成型时收缩率波动较大,给模具设计、确定型腔尺寸和控制制品尺寸精度带来困难^[5]。因此在模具设计时应了解塑料的收缩特性和因制件形状而造成的各部位收缩率的差异,然后采用必要的补偿措施。对高精度塑料件可在设计前先制造简易模具,以测出成型时各部位的实际收缩率,这样便可大大提高制件的尺寸精度^[6]。

1.4 精密模具浇口的设计

浇口的类型、大小、位置和数量都影响制件尺寸精度。点浇口喷射力大,但补缩效果差,对厚壁制件不适用。浇口位置影响熔体流向和流程远近,流程愈长收缩愈大。多浇口可以缩短流程,但熔接痕增多。浇口的设计应该根据制件大

小和所选用的材料运用分析软件并借助于实际经验来最终确定。

2 精密注射成型最佳工艺参数的设定

选取最佳的成型工艺参数能够减少塑料制品的收缩率。塑料的收缩特性是指塑料的热收缩、弹性回复、塑性变形、后收缩和老化收缩的综合反映,通常是因材料吸水或分子链重排而引起,具体表现为线性收缩率和体积收缩率的变化,常用收缩特性值表示。热塑性塑料注塑制品成型时收缩率波动较大,特别是对于结晶性塑料注塑制品更加明显,由于结晶度不仅取决于化学结构,而且还受到加工过程中冷却参数(冷却速率、熔体温度、模具温度、制品厚度)的影响,给模具设计确定型腔尺寸和控制制品尺寸精度带来困难,所以迫切需要了解注塑工艺参数对各种塑料收缩率的影响规律^[7]。

制件壁厚差异一般认为是由两个方面的因素引起的:一是高压熔体引起的模具型腔轻微变形;二是当模具开模后材料的弹性膨胀。一般来说,质量精度能够很好地控制尺寸精度,而在较高的模具温度里熔体的粘度较低,所以粘度梯度较小,在一定的螺杆背压下,制件的质量精度就能够得到精确的控制。然而对于液晶聚合物(LCP)来说,它恰恰需要较低的模具温度,这是因为 LCP 遇冷后会迅速冷却定形。LCP 有低的熔解热和有序的结构状态,因此在液体晶态向固体晶态转变之间有较小的变化,当充分冷却时,液-固转变几乎是在瞬间完成。在较冷的模具中,当型腔充满时,型腔中的大部分材料和浇口已经固化,因此压缩阶段很难补充熔体,因而制件的尺寸与未变形的型腔尺寸十分接近^[8]。

无定型塑料较结晶型塑料收缩率低,配混料的收缩率较纯聚合物材料低,同时随着弹性体用量的增加,材料的收缩率有所降低。塑料经增强或填充后,热容减小,刚性增大,收缩率大幅度降低,且纤维或填充剂含量愈高,收缩率愈小^[9]。

结晶型塑料制品精度还受压力的影响。由于压力致结晶的作用,注塑压力(P_1)、保压压力(P_2)和补料压力(P_3)能够加速结晶过程,因此结晶度随 P_1 、 P_2 、 P_3 的增加呈上升趋势。对于 P_1 ,其压力致结晶作用提高了结晶度,使收缩率增加; P_2 和 P_3 上升,一方面因结晶度提高使收缩率增加,另一方面 P_2 升高能压入更多的熔体,使型腔内塑料受到充分压实; P_3 升高能增大补料量,并有效地防止倒流,有利于降低收缩率。因此,塑料件的收缩率是两方面作用的结果,所以收缩率随 P_1 、 P_2 、 P_3 的升高先增加后减小^[10]。

精密塑料件不仅要求有稳定的尺寸公差,而且还要求有严格的力学性能。这些特性主要取决于熔体在冷却阶段的热-机械作用的历史过程。模具温度和冷却时间对制品质量和生产率都有直接的影响。研究发现,在给定的模具温度下,制品的尺寸精度并不随冷却时间的延长而有明显的提高,只有在一定的时间段后才有明显的作用。在一般冷却过程中这样的关键冷却时间点有两个,在第一个冷却时间点时虽然生产的制品精度也较高,但不是最稳定的状态,而第二个冷却时间点冷却时间比较长,但能使制品的状态最稳

定^[11,12]。

3 用精密注塑机代替常规注塑机

精密注塑机一般都采用较大的注射功率,这样除了可以满足注塑压力和注射速率方面的要求外,注射功率本身还会对制品精度起一定的改进作用。精密注塑机的控制系统一般都有很高的控制精度,这一点是制品本身所要求的。高的控制精度能保证各种注射工艺参数具有良好的重复精度,以避免制品精度因工艺参数波动而发生变化。因此精密注塑机一般都对注射量、注塑压力、注射速率、保压压力、背压和螺杆转速等工艺参数采取多级反馈控制。精密注塑要求其合模系统有足够的刚度,否则制品精度将会因合模系统的弹性变形而降低。其次合模系统的合模力大小必须能够精确控制,否则过大或过小的合模力都将对制品精度产生不良影响。所以在设计时,应该综合考虑模具刚度、系统刚度以及合模力的大小以精确控制制品的精度,尤其是平板薄壁制品。当模具面积较大时,必须对导向柱进行挠度校核^[13]。精密注塑机还必须能够对液压回路中的工作温度进行精确控制,以防工作油因温度变化而引起粘度和流量变化,进一步导致注射工艺参数波动而使制品失去应有的精度。

3.1 成型制件循环时间的一致性

一般典型的注塑机有三种模式:手动、半自动、全自动。由于各种因素的影响,在前两种模式下每次模塑的循环时间不尽相同,这会影响到模具温度和物料在料筒中的停留时间,进而影响到制件的精度,因此在精密成型中应尽量采用全自动的模式^[14]。

3.2 精密注塑机的温度控制和新型螺杆的设计

注塑机筒上自动调温器的循环性开和关导致了料筒内熔料密度和粘度的变化,从而影响制件质量和尺寸精度的周期性波动;注塑机的喷嘴紧靠模具型腔,所以喷嘴的温度对模塑制件也有重大的影响。现代的注塑机配备了特殊的过程控制软件来抑制温度波动,这就是比例积分微分(PID)控制。至少从机筒温度差电偶的观点上来看,优化 PID 参数能够完全消除温度的波动^[15]。

要制得高质量和稳定的塑料件,注塑机的塑化单元是非常重要的。对塑化单元评判的重要标准是:注射量、塑化速率、注射速率、高聚物在塑化单元的停留时间。

由于塑料件质量的误差对于尺寸精度有很重要的影响,因此应精确控制注塑机的注射量。提高注塑机计量精度的最有效方法就是用技术上能够实现的最小的螺杆直径,特别是对于轻型制件更是如此。由于螺杆计量段的相对长度和螺杆的整体长度变小,因此物料在塑化单元中停留的时间也会变短。螺杆螺纹也近似地变宽,可避免物料的停留时间变长,使螺杆稳定地运行。螺槽的宽深比也相应地变小,这对制造许多工程塑料制件的小直径螺杆尤为有效。熔体的均一性并没有因为小压缩比而减小,这是因为由非常浅的螺槽引起非常强烈的剪切速率而导致的。喂料段是设计的难点,它必须要保证各种粒料能够均匀地喂进去。考虑到需要较

短的循环周期,塑化速率也必须足够大,因此在设计喂料段时必须有效地解决这一对矛盾。另外,若要通过两阶段螺杆注射来达到精确控制注射量误差,这就需要熔体的计量要通过球形检测阀由注塑机注射到活塞注塑机中^[16]。

以前由微处理器控制的注射成型过程不能获得的注射精确度已经通过电压比较仪成功地解决了。电压比较仪允许从传送器和其它传感器传来的非常精确的电压信号通过,当设定点和真实值相吻合时有一个信号马上传送到顺序控制的微处理器,因此由顺序运行程序的循环时间引起的异步时间转移能够通过直接的信号过程来消除^[17],大大提高了控制的精度。

4 精密成型新技术

4.1 在模具中应用注射压缩成型(ICM)技术

ICM技术是指模具开启一定距离的条件下开始注射,注射到一定量后,模具开始闭合对型腔内的熔体实施压缩,模具完全闭合时注射终止,然后保压、冷却直到取出制品。注射压缩成型是通过压缩行为来压实制品,使得制品的表面具有均匀的压力分布,这样压实的制品尺寸精度高且稳定,变形小。它是在模具开启的情况下将熔体注入型腔的,因而流动通道大,所需的注塑压力很低,并且减小或消除了由保压引起的树脂分子取向和制品的内应力,从而提高制品的尺寸稳定性。ICM技术的柔性与控制能力都较一般的注射模有较大的提高。因此利用这项技术可以生产更高精度的制品,尤其是高精度的圆柱状制品^[18~21]。

4.2 高速注射成型

高速注射成型方法的熔体填充速度较传统的快10~100倍,使熔体在模腔内产生高剪切的流动,粘度下降,充模速度快,塑料表面硬化减慢,因而可提高薄壁制品的成型厚度极限,抑制过度的成型压力,同时由于模内低压流动,制品的内应力降低。对于薄壁精密制品,可以利用注塑时螺杆前移引起熔体吸收能量,在螺杆移动停止后通过熔体膨胀高速充满型腔来实现。

4.3 无保压的注射成型

无保压注射成型技术是指将塑料熔体以高速、高压填入模具,然后关闭设于喷嘴的针阀,以模腔内的塑料熔体自动弥补制品各部分的收缩,这样可以大大降低制品的翘曲变形。但是这种方法需要事先估计保压的收缩补充部分,因此在注射中需要有较高的型腔压力值,需要的锁模力也高。

4.4 其它的智能控制技术

精密注射成型过程中对加工条件实行持续性监测和精确控制非常重要。随着计算机技术的发展,计算机化的注射成型已得到广泛的应用。其中有统计过程控制(SPC)技术、PID技术、模糊逻辑控制(FCC)方法、中枢网络控制(NNC)方法和基于逆向加工模型的中枢网络尺寸控制等^[22]。

5 结语

对塑料制品高精度、高性能要求的日益增长是精密注射成型技术前进的动力,人们对精密注射成型原理理解的不断深化是精密注射成型技术进步的基础。随着新材料、新工艺和新设备的相继出现,尤其是计算机在塑料加工中的广泛应用,为精密注射技术创造了良好的条件。对只要合理的利用这些技术,就一定能生产出精密的制品。

参考文献

- 1 罗卫华,等. 工程塑料应用,2002,30(8):27
- 2 张友根. 塑料技术,1990(1):17
- 3 奚永生. 精密注塑模具设计. 北京:中国轻工业出版社,1997.
- 4 林鹏. 模具技术,1998(1):70
- 5 王松杰,等. 塑料加工,2002,37(3):40
- 6 陈洪璆,等. 精密塑料成型. 北京:国防工业出版社,1999.
- 7 孙奇志,等. 塑料科技,1996(6):13
- 8 Liu C. Polymer Engineering and Science,1996,36(1):1
- 9 周坤鲁,等. 工程塑料应用,2003,31(1):31
- 10 戴文利,等. 高分子材料科学与工程,1995,11(5):97
- 11 Yang S Y, et al. Advances in Polymer Technology,1996,15(4):289
- 12 Chen Shia-chung, et al. Advances in Polymer Technology,2003,22(4):306
- 13 朱锡坤,等. 模具工业,2001(11):37
- 14 Kleibrach. M. Kunststoffe Plast Europe,1998(1):12
- 15 胡海青. 工程塑料应用,2000,28(10):18
- 16 Mikell K. Plastics Technology, 2001(4):54
- 17 许航. 机电元件,2002,22(2):56
- 18 许忠斌,等. 中国塑料,2003,17(4):61
- 19 Yang S Y, et al. Advances in Polymer Technology,1996,15(3):205
- 20 Masaki Y, et al. Polymer Engineering and Advance,1998,38(9):1587
- 21 Peter Pokorny, et al. Injection Moulding,2001,91(7):22
- 22 吴大鸣,等. 中国塑料,2003,17(2):1

RESEARCH ADVANCES IN PRECISE INJECTION MOLDING TECHNOLOGY

Chen Zhanchun, Li Zhiping, Yan Zheng

(College of Polymeric Material & Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

ABSTRACT The precise injection molding technology of polymer materials is presented. The factors including the accuracy of mould, control accuracy of injection molding machine, precise injection molding technological conditions and other computer controlling technologies which influence precise injection molding are described. These factors are analyzed respectively, and corresponding solutions are provided. Finally some molding technologies are presented.

KEYWORDS precise injection, injection molding machine, precise injection molding technology, precise injection mould