

高质量透明聚合物成型工艺研究进展^{*}

李毅超 张宜生 李德群

(华中科技大学材料成形与模具技术国家重点实验室,武汉 430074)

摘要 论述了近年来国内外在高质量透明聚合物成型技术领域的最新发展状况,重点介绍了注射-压缩成型技术与热变温成型技术在工艺、设备方面的最新研究进展。

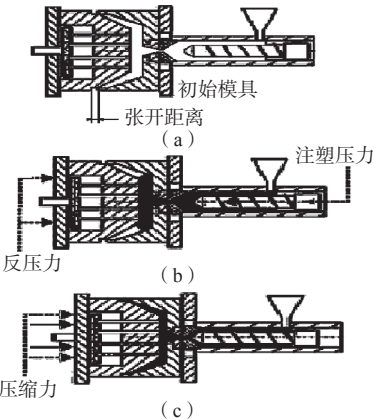
关键词 透明聚合物 注射-压缩成型 热变温注射成型

传统注射成型工艺被广泛应用于制造各种聚合物制品。但在注射成型过程中制件会不可避免地产生诸如收缩不均、熔合纹、翘曲等缺陷,影响其力学、光学等方面的性能。随着人们对制件质量要求的不断提高,这些缺陷对于制造诸如车窗玻璃、精密镜片、光盘等高质量制件是不允许出现的。所以人们开始研究新型的成型工艺来避免此类缺陷的产生。高质量成型技术从广义上讲是制造精度高、强度高、质量轻、符合规定要求制件的制造工艺过程。在注塑领域指的是使制件尺寸精度达到0.001~0.01 mm的注塑工艺水平。近几年随着塑料工业的迅速发展,塑料制品被广泛应用于各个领域。最近随着新型制造工艺及相关技术的发展,注塑产品逐渐向高质量、高精度、高附加值的方向转变。笔者结合国内外最新发展情况,从成型工艺方法与设备两个方面对高质量成型技术的现状和发展趋势进行了综述。

1 新型成型工艺方法与研究进展

1.1 注射-压缩成型技术

1960年美国的F. A. Martin^[1]制造出全世界第一台用于注射-压缩成型的注塑机。作为一种新型的成型方法,注射-压缩成型工艺在结合了注射成型和压缩成型两种成型方法优点的同时,最大限度地避免了各自的不足,并且得到了广泛的应用。与传统的注射成型工艺相比,注射-压缩成型工艺的主要特点是模具可以根据需要进行运动。图1为注射-压缩成型工艺示意图。根据不同的工艺要求,在塑料注射完毕后控制动模继续运动,压缩塑料使其均匀填充于型腔



a—前注射阶段；b—注射阶段；c—压缩阶段

图1 注射-压缩成型工艺示意图

内。一方面,聚合物可以保持适当的受压状态,达到补偿制件收缩的效果;另一方面,通过压缩过程,制件的内应力得到均匀分布,从而最大程度地降低了制件的翘曲变形。注射-压缩成型工艺具有降低模压、减少残余应力、最小化分子取向、保压平稳、降低制件表面收缩不均匀度、减少翘曲和双折射、提高制件尺寸精度等优点。注射-压缩成型工艺已经越来越多地应用于生产高精度低应力的制件,如光学部件、高质量车窗、光盘、医用容器件、人工角膜等。

1989年K. Sato等^[2]设计出一套具有电子液压控制系统的注射-压缩成型设备。同年D. P. Spector等^[3]设计出了用于制造高精度光学透镜的注射-压缩成型设备,并给出了具体工艺成型方法。近几年,德国的Battenfeld、Krauss-Maffei、奥地利的Engel、日本住友等设备供应商已经开发出相应的注射-压缩成型机来满足成型过程中低压、低应力的工艺要求。图2所示为Engel-Duo系列精密注塑机。在工艺方面,Krauss-Maffei公司首次采用了“膨胀-压缩”技术,即在注射开始阶段模具完全关闭,当塑料开始填充时动模张开一定距离,当接近充满型腔时动模进行压缩直至合模。此外,Summerer与Battenfeld公司合作研制出了一种新型注射-压缩成型机HM20000。该注塑机采用模内加压IMPmore(In-Mould-Pressing)的新型技术。原理是在模具中置入一个有倾斜顶端的铰接型腔,该型腔在低压下汇集熔融塑料,在成型过程中将其挤入余下的空腔内。在初始注射时,一排液压圆筒提供反压力来保持型腔位置不变。在压缩阶段,圆筒会发生运动来完成压缩过程。这种新型的成型工艺可以利用塑料长距离的流动、较低的夹紧力与拉伸力来生产大型薄壁制件。

为了更深入地了解注射-压缩成型工艺,达到更好地控制制品质量的目的,国内外进行了大量相关研究^[4-7]。D. O. Kazmer等^[8]使用数值模拟的方法对光学制件的注射-压



图2 Engel-Duo系列精密注塑机

^{*} 国家自然科学基金项目(50675080)

收稿日期:2010-05-14

缩成型过程进行了研究,并通过实验对制品的双折射现象进行了分析。S. Bickerton 等^[9]分析了注射-压缩过程中压缩速度与压紧力两个因素对成型过程的影响。结果表明,通过增大模具压紧力,同时合理调整压缩速度可以显著改善制品表面质量。S. Wirth 等^[10]对压缩树脂传递模塑工艺进行了实验研究。结果显示树脂的注射填充时间大幅度减少,但在型腔的尾部注射和润湿时间有所增加。A. Shojaei 等^[11-14]对树脂注射-压缩成型的充填过程采用控制体积与有限元结合的方法(CV/FEM)进行仿真模拟。结果发现,不同性质的纤维垫层对成型过程产生很大的影响,合理的混合纤维垫层能够显著降低注射时间并且使流动过程均匀化。Chang Chihyuan 等^[15]采用在定模型腔的底部增加纤维垫层的方法对树脂的注射-压缩成型工艺进行实验。结果显示,较小的动模张开高度和较高的压缩速度能够显著减少注射填充时间,同时减小制品的收缩率。但过程参数设置不当会对注射过程产生不良影响,甚至产生回流。费春红^[16]采用机电液一体化技术设计出一套可安装于普通注塑机上的注射-压缩成型装置。

1.2 热变温高光无痕成型技术

最近一种新型的热变温成型技术,又称高光无痕注射成型技术正逐渐发展起来。热变温成型技术是传统注射成型技术的延伸与改进。其原理是在注射成型过程中实时监控模具的温度变化,控制成型材料在高于其自身热变形温度的条件下迅速填充型腔,同时控制成型材料在低于一个初始设定温度的条件下快速冷却,从而制得成型件。图3为热变温成型过程中模具的温度变化示意图。从图3可以看出,模具温度呈现上下往复的波动趋势,且模具升温与降温的速度较快。由于在填充过程中模具温度高于成型材料的热变形温度,熔料在流动过程中与壁面的摩擦减小,从而贴壁现象显著降低。这一方面加速了熔料填充过程,降低了注射时间;另一方面,熔料的表面能够最大限度地复制模具壁面的光滑度,使得制品的表面光亮洁净,不需要进行二次加工;此外,对于多浇口的注射成型工艺,由于模具温度高于熔料自身的热变形温度,在型腔内当熔料的流动前沿互相交汇时,交接处不会产生熔合纹,熔料的内应力会显著下降,从而提高制品的力学性能。

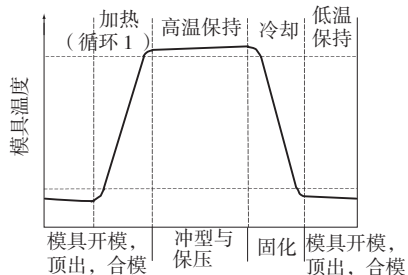


图3 热变温成型模具温度变化示意图

20世纪70年代日本小野公司开始研究此项技术,以消除制品成型过程中产生的熔合纹对制品表面质量的影响。

这其中最大的难点是如何在较短时间内使模具温度迅速升高和降低。经过几十年的发展,特别是在近10年间,国内外在热变温成型工艺上取得了很大进展。B. Kim 等^[17-18]设计出一套用于对模具进行快速加热与冷却的设备,并给出具体操作方法。丁磊等^[19-20]设计出了一套完整的热变温成型工艺装置,并给出其控制流程,如图4^[12]所示。

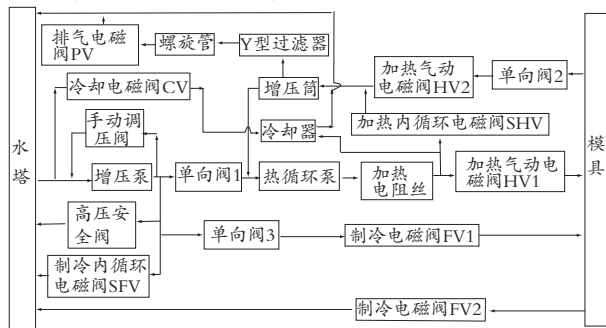


图4 热变温系统控制流程示意图

首先根据成型材料的性质设定好加热与冷却目标温度。当上一次成型周期结束时开始加热模具:开启SHV电磁阀对水进行加热,同时关闭其它阀门。当水温上升到指定温度时,关闭SHV,开启HV1与HV2电磁阀加热模具,同时开启SFV电磁阀为接下来的模具冷却进行水冷准备。安装在模具内的热电偶实时监测模具温度变化,当模具温度上升到设定温度值时进行注射与保压操作。进入冷却阶段时,关闭HV1与HV2,开启FV1与FV2电磁阀,并关闭SFV,同时开启SHV为下一个循环进行水加热。热电偶监测模具温度下降到指定温度时进行开模,顶出制品,完成一次循环周期。经过测试,此系统的加热温度可在短时间内达到1300℃。由于其流程设计简洁、具体、新颖,可以为相关温控系统的设计提供参考。

王桂龙等^[21]采用计算机模拟的方法对LCD面板进行了热变温成型工艺的模拟研究。通过分别设置模具、型芯、面板的初始温度、比热容、热传导换热系数成功地计算出成型过程中模腔内壁温度的变化值。同时,他们在相同条件下实验并通过在型腔内安装热电偶的方法获得了真实的模腔温度变化值。结果表明,模拟结果与实验结果趋于一致,模拟方案可以为实际成型工艺的研究提供参考。B. Nardin 等^[22]设计出一种基于珀耳帖效应的电热模块作为加热设备安装于模具内部模面与冷却水管之间的位置,并用实验与模拟相结合的方法对模具及其周围的温度分布进行了研究。Chen Shiachung 等^[23]设计出一套采用气体注射作为加热源的模具,并且在模具基板与型腔间分别加入两层隔板,其结构示意图如图5所示。研究人员对模具基板与成型材料之间有无镍板与绝缘层的加热方案进行了实验比较。结果表明,镍板可以减少热容量,并且在加热和冷却过程中迅速使模具表面温度升高到指定值;而热绝缘层可以有效降低热耗散,使热量集中于模具表面。研究者对气体注射加热的管道分别使用了扇形与管形两种不同形状,并对两种管道内的温

度分布进行了比较研究。结果发现,扇形管道的温度分布与管形一致,温差不超过 5℃,加热效果更为显著。Chang Pei-chi 等^[24]研制出一套采用红外线灯管作为发射源进行模腔加热的系统,并采用模拟的方法分析了模腔表面的温度分布,发现采用红外线灯管作为发射源加热可以在满足加热要求的条件下显著降低能量消耗。而 Wang Guilong 等^[25]使用模拟的方法对热变温成型过程中的蒸汽加热与电加热的效果进行了比较分析,并同时考虑了绝缘层、模具材料对加热效果的影响。结果显示,电加热速度较慢,且没有加热极限;而蒸汽加热速度快,但有峰值限制。使用绝热层可以同时提高两种加热方式的峰值。另外,对于蒸汽加热方法,加热与冷却效率与模具的热传导率呈正比;而电加热方式则恰恰相反。

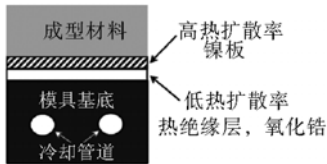


图5 复合模具结构示意图

2 结语

以理论、实验、模拟为主对高质量透明聚合物成型技术的研究工作正在逐渐深入。注射-压缩成型工艺与热变温成型技术因其能够直接改善聚合物成型过程中对其质量影响最为关键的纤维取向与组织温度而受到了广泛的关注。但针对成型过程中材料微观组织变化的研究鲜有报道,如何监测与控制成型过程中材料微观组织的变化,建立微观变化与宏观制品质量之间的关系及评价准则是高质量透明聚合物成型技术新的发展方向。

参考文献

[1] Martin F A. Combined injection and compression molding: US, 2938232[P] .1960-05-31.
[2] Sato K. Method for injection compression molding: US, 4855095 [P] .1989-08-08.
[3] Spector D P, et al. Fabrication of thermoplastic optical components

by injection/compression molding: US, 4836960[P] .1989-06-06.
[4] itamura T. Injection compression molding method for compact discs or the like: US, 5417899[P] .1995-05-23.
[5] Lee W I, et al. Composites, 2000, 31: 407 - 422 .
[6] Walbran W A, et al. Composites, 2009, 40: 1 119 - 1 133.
[7] Khondker O A, et al. Composites, 2006, 37: 2 285 - 2 299 .
[8] Kazmer D O, et al. Polymer Engineering and Science, 2003, 43 (3) : 596 - 606 .
[9] Bickerton S, et al. Composites Science and Technology, 2003, 63: 1 359 - 1 375 .
[10] Wirth S, et al. J Reinf Plast & Comp, 1998, 17(16) : 1 414 - 1 430 .
[11] Shojaei A. Composites Science and Technology, 2006, 66: 1 546 - 1 557 .
[12] Shojaei A. Composites, 2006, 37: 1 434 - 1 450 .
[13] Shojaei A. Composites Science and Technology, 2003, 63: 1 931 - 1 948 .
[14] Shojaei A. Composite Structures, 2004, 65: 381 - 390 .
[15] Chang Chihyuan. Journal of Reinforced Plastic and Composites, 2006, 25: 1 255 - 1 268 .
[16] 费春红. 塑料注射-压缩精密成型技术及成型装置的研究 [D] .吉林: 吉林大学, 2004 .
[17] Kim B, et al. Polymer Engineering and Science, 2002, 42(12) : 2471 - 2 478 .
[18] Kim B, et al. Method for rapid mold heating and cooling: US, 6846445[P] .2005-01-25 .
[19] 丁磊, 等. 模具工业, 2009, 35(1) : 45 - 48 .
[20] 梁雄, 等. 模具工业, 2009, 35(6) : 48 - 50 .
[21] 王桂龙, 等. 材料工程, 2009, 9: 24 - 28 .
[22] Nardin B, et al. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 187: 690 - 693 .
[23] Chen Shiachung, et al. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2009, 36: 806 - 812 .
[24] Chang Peichi, et al. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2006, 49: 3 846 - 3 854 .
[25] Wang Guilong, et al. Materials and Design, 2010, 31: 382 - 395 .

DEVELOPMENT OF MOLDING TECHNOLOGIES FOR HIGH QUALITY
TRANSPARENT POLYMER

Li Yichao, Zhang Yisheng, Li Dequn

(State Key Laboratory of Material Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

ABSTRACT Recent development of molding technologies for high quality transparent polymer at home and abroad was presented. And the technologies and equipment of injection-compression molding and rapid heat cycle molding were introduced with emphasis.

KEYWORDS transparent polymer, injection-compression molding, rapid heat cycle molding

道达尔成功用甲醇生产聚丙烯塑料

道达尔采用 UOP 技术建成的 MTO + OCP 一体化工艺半工业示范装置,自 2009 年二季度正式启动后,经过长期的运

行和调试,现已经用甲醇生产出聚合级丙烯,并且制成了合格的聚丙烯塑料单体颗粒,这是世界上首次用甲醇在一体化装置里制成塑料。(中聚网)