

多组分注射技术研究现状

万守臣 傅建 彭必友 余玲

(西华大学材料科学与工程学院,成都 610039)

摘要 概述夹芯注射、双色注射、气辅共注射和水辅共注射4种典型多组分注射成型技术的原理、特点和应用,以及国内外学者在质量控制、成型工艺、模具设计和注射方法上的研究现状。

关键词 多组分注射 夹芯注射 双色注射 气辅共注射 水辅共注射

随着社会的不断发展和进步,人们对塑料制品的性能提出了越来越高的要求。传统的注射成型技术由于其局限性已经很难适应这种要求,而多组分注射成型技术的发展则为拓宽产品应用、提高成型质量、降低生产成本开辟了一条可行之路。

多组分注射成型技术是指使用两个或两个以上注射系统的注塑机,把不同色泽或不同种类的塑料同时或顺序注射到同一个模具内而获得满足特殊要求的一种塑料制品成型技术。多组分注射成型具有许多其它塑料成型技术所无法比拟的优点^[1],如:①可将不同使用特性或加工特性的材料复合成型;②提高制品手感和外观,并集多种功能于一体;③缩短制品设计和成型周期,降低生产成本;④减少或取消传统注射成型后的二次加工和装配。多组分注射技术按照其成型原理及成型工艺的不同,可以分为夹芯注射、双色注射、气辅共注射和水辅共注射等多种。笔者现将多组分注射成型技术的研究现状作一介绍。

1 多组分注射成型技术研究现状

1.1 夹芯注射成型技术

夹芯注射成型技术(亦称共注射)是将两种不同的塑料熔体先后注入型腔内,形成以先注入的熔体为表层,后注入的熔体为芯层的成型技术。该技术由ICI公司于1967年提出^[2],并在业界得到广泛应用,该技术既可用发泡材料或流动性性能较好的材料作为制品芯层,减少制品总重或降低注塑压力,又可综合各层材料的特性,生产出具有多种功能的复合注射件,如以电磁屏蔽材料或导电树脂为芯层,以色彩和表面质量俱佳的塑料为表层的电磁波屏蔽零件^[3]。

夹芯注射成型流程包括三个阶段:①注入壳层熔体;②当壳层熔体注射量达到工艺要求后,注射芯层熔体;后注入的芯层熔体推动先注入壳层熔体继续充填型腔空隙部分;由于同型腔壁接触的壳层熔体很快冷却固化,从而使得芯层熔体难于透过壳层与型腔壁接触;③一旦芯层熔体注射量达到规定,即开始重新注射壳层熔体,以封闭芯层浇口;全部熔体冷却后便得到壳层/芯层结构的制品。

王涛等^[4]以矩形板为对象,研究进料方向对夹芯注射成型中芯层熔体前沿冲破的影响,并建立了预测前沿冲破趋势的数学公式。研究结果表明,沿矩形板长度方向进料和沿宽度方向进料的熔体冲破趋势不同,其单位截面积中熔体流

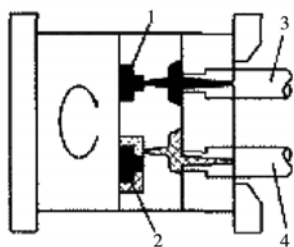
速的改变是不同方向进料有不同冲破趋势的主要原因。何跃龙等^[5]建立了夹芯注射的数学模型,利用有限元和有限差分法对夹芯注射件成型过程进行模拟,发现以流动性好(粘性更低)的材料作芯层可以降低注塑压力;芯/壳层材料粘度比越高,芯层熔体穿透深度越浅。钱欣等^[6]也以矩形板为分析对象,研究了不同芯壳层材料组合对芯壳层界面处残余应力的影响。结果表明,夹芯注射体系中两种熔体相容性的好坏对芯壳层界面处残余应力的分布有较大影响,其中芯层为结晶型组分时会导致残余应力有较大的跃迁。李凤仙等^[7]将数值模拟和正交试验相结合,在研究不同工艺参数对夹芯注射产品翘曲变形量影响的基础上,认为芯壳层熔体的粘度比对夹芯注射产品翘曲变形的影响最大,其次是注射时间和保压时间,其最大翘曲变形主要分布在浇口附近。笔者认为,浇口处最后凝固,而且在充填及保压过程中浇口处的压力明显高于其它部分,导致冷却后浇口处的残余应力增加,因此该处具有最大的翘曲变形量。

1.2 双色注射

双色注射成型技术(亦称双料注射、双组分注射)实际上是一种“模内组装”或“模内焊装”成型工艺。由于后注射的组分通常包覆或半包覆在先注射组分(亦称基体)上,因此也称“重叠注塑”。

目前,业界主要借助两种方式来实现双色注射。一种是非旋转模具式,另一种是旋转模具式。前者又可细分成后退型芯式和半成品传递式两类^[8]。后退型芯式注射对设备要求相对较低,模具体积相对较小。半成品传递式双色注射是利用注射系统内部或外部的机械装置将先注射的半成品安装到下一工位进行第二组分注射,模内装配特征明显,常用于牙刷等制品的生产。旋转模具式双色注射原理如图1所示。模具的定、动模板分别安装在注塑机定模固定板和可旋转的动模固定板上,一副模具的两个型腔或两副模具按180°排列。注入小型腔的熔体冷却固化成一定形状的制品后开模,塑料件留在动模;动模固定板旋转180°后再闭模注射第二组分,先注射组分便作为“嵌件”被包覆。

双色注射的最大问题是不同物料界面处的粘接不牢和翘曲。后注射组分的成型明显受基体(即先注射组分)的影



1—小型腔；2—大型腔；3—小型腔注射装置；4—大型腔注射装置

图1 旋转模具式双色注射原理

响,反过来后注射组分也会影响基体。而从目前掌握的资料来看,影响双色注射界面粘接力的主要因素有^[9]:①聚合物的交联度,不同聚合物间的交联可在分子层面上提高界面粘结力;②成型压力,更高的成型压力有利于界面处微接触的亲密性;③加工温度,更高的模温及料温将促进界面大分子间的穿插交联;④基体表面粗糙度,高的表面粗糙度可加大两组分间的接触面积,从而增加界面结合力;⑤收缩应力,界面两侧不均匀收缩产生的应力差促使界面分离。由此可见,提高双色注射界面结合力和减小翘曲的最好方式就是采用两种性质相近的材料,这样既有利于界面上分子层面的交联粘合,又会降低界面处内应力,从而减少翘曲。其次,可通过增加模温和料温的方式来加强界面结合,这也是生产实践中经常采取的措施。此外,在不影响使用的前提下,还可通过增大两种组分界面接触面积(例如加大界面接触部分的基体粗糙度、将产品设计成凹凸穿插结构)的方式提高界面结合力。

Chang Rongye 等^[10]利用3D CAE技术分析双色注射过程,发现两组分界面处温度明显高于其它区域,因此界面处的体积收缩率较其它区域高,加之两组分本身存在的收缩率差异,最终造成界面处残余应力偏大,进而容易引发翘曲和粘接不牢等质量问题。夏建生等^[11]在用有限元法对手机机内外壳重叠注射进行数值模拟研究时也发现,两种组分界面处的温度比其它部分高出很多,且界面处的冷却时间较长。虽然他们从传热学角度说明界面散热不佳的主要原因是先注射组分属于热的不良导体,但是并未对数值模拟观察到的翘曲现象做深入探讨。Peng A Y 等^[12]以Ⅱ型双色注塑件为例,研究产品的残余应力分布及其产生翘曲的原因。研究表明,基体和后注射组分界面处的残余应力明显大于其它部分,如果减小Ⅱ型件的两个边长,则零件翘曲会由向内转为向外。笔者认为,组分间不同的收缩率造成界面两侧的材料相互拉扯,从而导致残余应力增加,最终引起制件翘曲变形。

现代大规模工业生产对生产效率提出了越来越高的要求。显然,传统的装配方式已远远不能适应这种要求,在减少甚至取消二次装配上,双色注射提供了一种很好的途径,如图2所示。

由丹麦Gram公司提出的型芯转动技术(Spin-Stack)能很好地解决二次工序问题,其原理见图3^[13]。

这种技术不仅可以生产模内双色注射产品,也可以进行

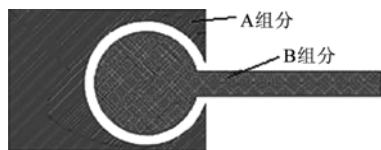
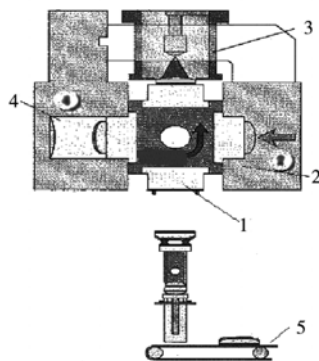


图2 球头连接机构



- 1—在模内插入修饰用膜片,然后旋转90°;
- 2—将塑料熔体模塑在膜片表面,然后旋转90°;
- 3—对已成型零件表面喷涂,然后旋转90°;
- 4—将已成型零件置于紫外线下,使表面涂料固化后旋转90°;
- 5—涂料完全固化后,机械手取下零件,开始进行下一周期

图3 型芯转动技术原理示意图

某些二次装配工序。其核心在于立方体结构型芯连接在一个可以360°旋转的装置上,可以绕垂直轴以90°或120°的增量旋转,不同工位可以同时工作,在一个周期内可以完成模内焊装、喷涂、质检等工序,从而能大大缩短制品生产时间。目前,国外的Innatech、MGS Mfg和Gram等多家公司都已经采用这种技术生产多组分零件^[13]。由于其模具结构较为复杂,造价较高,在国内大规模的应用报道不多。

1.3 气辅共注射成型技术

气辅共注射成型技术是一种将气辅注射和多组分共注射技术相结合的工艺,它可以看作是在气辅注射的基础上增加了夹芯注射,也可以视为在夹芯注射上增加了气辅注射过程。由于气辅共注射用气体填充塑料件的内部空间,因此气体辅助共注射与传统共注射相比更加节约物料。气辅共注射一般分为3个阶段:①共注射阶段:该阶段与传统的共注射工艺相同,主要是将两种物料按一定比例先后注入型腔,形成壳/芯结构雏形;②气辅阶段:共注射结束后经短暂延迟,接着注入高压惰性气体;注入的气体一方面穿透芯层熔体以形成中空,另一方面推动整个熔体继续前进,直至充满型腔;③保压冷却阶段:熔体在高压气体的作用下保压、冷却,最后得到中空壳/芯结构制件。

对于气辅共注射,其主要性能指标是壳层和芯层的厚度分布。与共注射相似,气辅共注射制品质量很大程度上取决于壳/芯层的粘度比及壳/芯层的注射质量。壳/芯层的粘度比过小,则芯层熔体难以穿透,导致芯层熔体在浇口处聚集;壳/芯层的粘度比过大,则极易产生壳层熔体冲破现象,导致芯材外露。

除了材料性质对气辅共注射制品质量有影响外,工艺参数的影响也不容忽略。壳层熔体过少,则容易产生芯层熔体穿透;芯层熔体过少,高压气体容易达到壳层,甚至突破壳层。料温及模温对于气辅共注射制品质量的影响主要体现在对物料粘度的影响上。气辅共注射涉及到芯层熔体注射延迟时间和注气延迟时间。匡唐清等^[14]的研究表明,与传统气辅注射的延迟时间影响相同,注气延迟时间越长,由于熔体的固化冷却,共注件实芯段越短,中空壁厚越厚;反之则实芯段越长,中空壁厚越薄,越容易导致吹破。此外,气辅共注模具设计时还需考虑气道布局。匡唐清等^[15]还研究了不同气道分布对气辅共注射的影响。结果表明,在相同工艺条件下,气道的布局会直接影响到气辅共注射成型中注塑压力需求、压力分布、材料分布及气体穿透。

1.4 水辅共注射成型技术

水辅共注射融合了夹芯注成型与水辅成型的优点,是一种生产高性能、低成本制品的成型技术。水辅共注射除了明显缩短制品成型周期、节省原料外,还能成型壁厚更薄更均匀的中空制品。图4是水辅共注射成型原理示意图。首先由共注成型机在模腔内顺序填充部分熔体,再由水辅装置通过水针注入高压水,迫使熔体充满整个模腔并保压,最终获得空心复合材料制品^[16]。

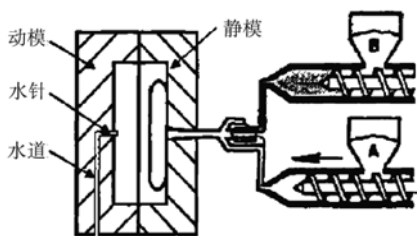


图4 水辅共注射成型原理示意图

在水辅共注射研究方面,国内外的文献较少。闫丽^[17]以长方体模型为例,分别就芯层熔体稠度系数、芯层熔体幂率流变指数、注射温度、注塑压力、注水温度、注水压力和注水延迟时间等对芯层熔体和注水穿透过程的影响进行了研究。结果表明,随着芯层熔体稠度、流变指数、注射量和注塑压力的增大,芯层熔体和水的穿透深度均减小,而穿透宽度增加;随着注水延迟时间、芯层熔体注射温度增加,芯层熔

体和水的穿透深度均增加。此外,注水温度对芯层熔体自身的穿透深度和宽度基本没有影响,而水的穿透深度则随着注水温度增加而增加。

2 结语

多组分注射不但可以成型传统注射不能获得的制品,而且可以降低生产成本,改善制品质量,因此在业界得到越来越广泛的应用。但是,多组分注射机理较复杂,影响其制品成型的因素较多,在一定程度上限制了多组分注射技术的发展。尤其气辅共注射和水辅共注射的国内外研究相对较少,这给两者的大规模推广应用带来一定难度。不过可以相信,随着研究的深入和技术的发展,以及人们对节能、环保和材料再利用等需求的增加,多组分注射在塑料制品生产上的作用会越来越大。

参考文献

- [1] 彭响方,等. 工程塑料应用, 2004, 32(9): 32-35.
- [2] Vos E, et al. Intem Polymer Processing, 1991, 4(1): 42-50.
- [3] 匡唐清,等. 塑料, 2005, 34(2): 88-92.
- [4] 王涛,等. 工程塑料应用, 2008, 36(5): 37-39.
- [5] 何跃龙,等. 中国塑料, 2009, 23(1): 99-105.
- [6] 钱欣,等. 中国塑料, 2006, 20(9): 45-48.
- [7] 李凤仙,等. 模具制造, 2009, 9(1): 10-12.
- [8] 刘迎春,等. 模具工业, 2008, 34(3): 10-14.
- [9] Alok K, et al. Int J Adv Manu Technol, 2007, 32(3): 350-357.
- [10] Chang Rongyeu. Three-dimensional simulation of multi-shot sequential molding[R]. 2005 SPE Annual Technical Conference, Boston, 2005.
- [11] 夏建生,等. 模具工业, 2009, 39(1): 12-15.
- [12] Peng A Y, et al. 多组分注塑件残余应力的数值模拟分析[C]. 中国塑料行业新材料、新技术国际论坛——2006中日韩及台湾区塑料新材料、新技术研讨会会议文集, 台湾, 2006: 436-439.
- [13] 龙桑田. 国外塑料, 2007, 25(5): 72-75.
- [14] 匡唐清,等. 中国塑料, 2003, 17(9): 1-5.
- [15] 匡唐清,等. 工程塑料应用, 2006, 34(2): 25-30.
- [16] 周国发,等. 中国塑料, 2008, 22(1): 58-62.
- [17] 闫丽. 水辅共注成型过程数值模拟的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2007: 102-103.

SUMMARY ON RESEARCH STATUS OF MULTI-COMPONENT INJECTION MOLDING TECHNOLOGIES

Wan Shouchen, Fu Jian, Peng Biyou, Yu Ling

(College of Materials Science and Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China)

ABSTRACT The principles, features and applications of four typical multi-component injection molding technologies which include sequential co-injection, bi-color injection, gas-assisted co-injection and water-assisted co-injection are summarized. Some research status of quality control, molding process, mold design and molding method in multi-component injection molding are introduced.

KEYWORDS multi-component injection molding, sequential co-injection, bi-color injection, gas-assisted co-injection, water-assisted co-injection