

水辅注射成型技术综述

孙 玲 刘东雷

(南昌大学机电工程学院, 南昌 330029)

摘要 水辅注射成型是在气体辅助注射成型的基础上发展起来的一种新兴的注射成型工艺, 论述了该技术的成型原理、成型特点、成型工艺、成型设备, 以及当前该技术在国内外应用、发展现状, 并指出了水辅注射成型技术今后亟待解决的几个关键性问题。

关键词 水辅注射成型 成型工艺 成型设备

水辅注射成型、气体辅助(以下简称“气辅”)注射成型及微孔发泡注射成型技术是目前国内外新兴的 3 种注射成型技术^[1]。气辅注射成型技术在国外用于商业化生产差不多已有 20 多年的历史, 相对而言其成型工艺比较成熟。与气辅注射成型相比, 水辅注射成型技术起步较晚, 尽管早在 20 世纪 70 年代就有人提出将流体注入聚合物熔体中成型中空制件的概念^[2], 但水辅注射成型技术真正兴起始于 1998 年, 在著名的德国亚琛理工大学塑料加工研究中心 IKV 召开的技术研讨会上发表的一篇水辅注射技术研究报告中首次提出了这一新兴的成型技术^[3]。正是由于水辅注射成型较之常规注射成型及气辅注射成型具有冷却速度快、成型周期短、节省原材料、制件表面性能好、壁厚均匀、可以用来生产中空平板、薄壁带加强筋等类型的制件和厚的壁厚均匀的注塑件及大、长型中空注塑件等无与伦比的优越性, 才使得其在短短几年内就取得了巨大的发展, 尤其是 2001 年在德国杜赛尔多夫举办的全球最具影响力之一的 K 展年会上, 水辅注射成型技术取得了突破性进展。到目前为止水辅注射成型技术已经在商业化生产中得到初步的应用。笔者基于对当前国内外水辅注射成型技术研究现状的调查研究, 现就这一新兴的注射成型技术的原理、特点、工艺、设备及应用、发展现状做较详细的介绍。

1 成型原理

与气辅注射成型相类似, 水辅注射成型技术也是用于中空制件的注射成型。其基本成型过程是^[4]: 首先把聚合物熔体注入模具型腔, 然后将流体(水)导入熔体中, 流体(水)沿着阻力最小的方向流向制件的低压和高压区域。当流体(水)在制件中流动时, 它通过置换物料而掏空厚壁截面, 形成中空制件, 而被置换出来的物料填充制件的其余部分, 当填充过程完成之后, 由流体(水)继续提供保压压力, 解决制件冷却过程中的体积收缩问题。

2 成型特点

与气辅注射成型相比, 水辅注射成型主要具有下列几个特点^[5]:

(1) 利用水辅注射成型塑料制件时, 与气辅注射成型最大的差别在于气体是可压缩的, 而水不可压缩。当水被注入熔体之后, 在水的流动前沿形成一层均匀的高粘性隔膜, 由

于其具有高粘性和不可压缩性, 使得这层高粘性隔膜就像活塞一样可以推动聚合物熔体向前流动。因此采用水辅注射成型技术能够生产厚的壁厚均匀的制件以及薄壁、带加强筋等类型的制品。

(2) 气体在聚合物熔体内流动时容易分叉, 会产生一些不可预料的结果, 如指状效应等, 这使得气辅注射成型过程往往很难控制, 制件质量不稳定, 壁厚均匀性差。而水辅注射成型则可克服这一缺点, 得到壁厚均匀、尺寸稳定性好的制件, 而且具有可重复性, 从而简化制品的设计。

(3) 与气辅注射成型相比, 水辅注射成型的另一个优点是水很难渗入或溶解于聚合物熔体中而气体则很容易。由于气体的渗入或溶解使得用气辅注射成型的制件内表面比较粗糙, 如果注射压力过大或注射时间过长, 往往会使得制件内表面布满气泡, 像“发泡”成型那样; 而用水辅注射成型则不然, 可以制得内表面光滑的制件。因此水辅注射成型往往用来生产大、长型中空制件。

(4) 由于水对制件内表面的直接冷却作用, 加之水的热导率是气体的 40 倍, 比热容为气体的 4 倍, 通常情况下水辅注射成型技术成型的制件仅仅是气辅注射成型周期的 $1/3 \sim 1/2$, 也有说仅仅是气辅注射成型周期的 $1/4$ ^[1]。例如, 生产一个直径为 76.2 mm 的车门把手, 用气辅注射成型法需要 50 s, 而用水辅注射成型只需要 28 s。

(5) 在水辅注射成型过程中, 对模具并不需要用太大的夹紧力, 利用该技术即使在低压成型设备上也可用来生产大型制件。与成型实体零件相比, 水辅注射成型可以消除制品熔接痕, 降低生产周期。

(6) 水辅注射成型是以水为介质, 来源较气辅注射成型的氮气易得, 而且可循环利用, 从而大大降低生产成本。

当然, 任何一种成型方法都会有其自身的缺点和不足, 水辅注射成型也不例外, 主要表现为: ①不适于多型腔注射成型, 一般情况下型腔数目不应超过 4~6 个; ②不适于高温注射成型, 需要采用加压机, 另外可能产生气泡等; ③模具密封性要好; ④注射水道要比气辅注射成型所开的气道大; ⑤模具材料的耐腐蚀性能要好。

此外,水辅注射成型对塑料原料的要求也很严格,就目前而言,常用的适于水辅注射成型的聚合物原料主要有尼龙66和聚丙烯(PP)。经测试可用于水辅注射成型的其它塑料还有聚碳酸酯(PC)、(丙烯腈/丁二烯/苯乙烯)共聚物(ABS)、PC/ABS合金、抗冲聚苯乙烯(PS)、聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)及热塑性弹性体(TPE)等。

水辅注射成型的优缺点比较如表1所示。表2列出了适于水辅注射成型的制件类型。

表1 水辅注射成型技术优缺点

优 点	缺 点
可以生产壁厚均匀的中空制件,且尺寸稳定性好	不宜于多腔注射,型腔数目一般不得多于4~6个
冷却速度快,成型周期短,生产效率	不宜于高温注射成型
由于水不溶于聚合物熔体,可以得到内表面光滑的制件	模具密封性要好
流动行为容易控制,制件壁厚均匀,且具有可重复性	注射水道要比气辅注塑开的气道大
成型压力要求低,水可循环利用,生产成本低	模具材料的耐磨性要求高,对塑料原料要求严格

表2 适宜于水辅注射成型的塑料件类型

项目	零件类型	实 例
封闭通道	棒状、管状零件	汽车输油管、门把手、椅子扶手、运动器具
	大、长型零件	挂物架、童车、管形框架、驾驶杆支持架
开放通道	盘类、厚壁零件	汽车方向盘、离合器、缓冲器
	薄壁、带加强筋类零件	仪表盘、面板、机壳、容器
	大型平板、结构复杂零件	车门板、车身、办公用具

3 成型工艺

与气辅注射成型类似,水辅注射成型工艺一般分为欠料注射、溢流注射、回流注射、流动注射4种。

3.1 欠料注射

欠料注射又称发泡或膨胀成型。成型时型腔中只填充部分熔体,然后注入水,推动塑料熔体充满型腔。整个充填型腔过程关闭喷嘴和注水针,防止熔体和水倒流,仅在充填型腔末端或附近留有排水阀以便水能在压缩空气的推动下排出型腔。

这种成型方法适合于厚壁制件一次成型,且无废料、凝料,节省原材料。在模具设计时可以把水(包括气体)的进出口设计在同一点或相近位置,以便于加工。其缺点是各种工艺条件的控制非常严格:(1)为了保证熔体前锋不被水穿透,应注入足够量的熔体;(2)注水压力一定要大于熔体压力,这样才能保证正常充填型腔;(3)注水时间过早或过晚都会影响到制件的表面质量;(4)在制件的末端厚度较大,冷却比较困难,从而延长了成型周期。欠料注射不适于成型表面质量要求高的制件。

3.2 溢流注射

溢流注射模具的主要特点是带有溢流腔,在模腔与溢流腔之间安装一个溢流阀来控制溢流通道的开关。首先使塑

料熔体充满型腔,打开注水口导入水,同时打开溢流阀,使塑料熔体在水的压力作用下转移到溢流腔,成型中空制件,水可以利用重力作用或蒸发排出型腔。

这种成型方法生产的制件表面质量好,可达到A级。与欠料注射相比,不需要太大的注射压力,成型工艺接近于常规注塑方法,应用范围广;余料可以再循环利用,节省原材料。但制件在成型之后往往需要剔除溢流凝料,而且由于溢流腔的体积要与溢出的塑料熔体体积相对应,但在试验和成型阶段熔体的体积又无法计算,故而溢流腔最好设计成体积可调节式。

3.3 回流注射

与欠料注射相比,回流注射首先要使塑料熔体充满型腔,而后从料流末端导入水,在水的推动下余料通过喷嘴回流到注塑机机筒。其模具设计的主要特点是在料流末端开设进水槽。

该成型方法的优点是可以实现无废料生产,且制件精度高。其难点主要有:(1)需要设计专用的喷嘴和挡圈以保证熔体回流;(2)要控制各部分的压力且要保持一致;(3)很难显示和控制回流物料的体积;(4)供气 and 供水系统要分开设计等。这些问题都对模具和设备的设计提出了很大的挑战。而且在成型过程中不允许水穿透熔体,这对诸如像尼龙类吸湿性材料来说非常关键,加大了工艺控制的难度。同时由于回流到注塑机机筒内的物料温度、压力等都与机筒内原有的物料不同,从而影响下一次注射成型制件的性能。

3.4 流动注射

综合欠料注射和溢流注射的工艺特点,流动注射采用循环水系统辅助成型,极大地提高了冷却效率,缩短了成型周期。首先进行欠料注射,而后导入水,在型腔末端开设一专门的出水口并由电子阀控制,当熔体充满型腔时,打开电子阀,水在注射压力的作用下穿透熔体,通过电子阀进入循环系统。

这种成型方法的优点是节省原材料,且冷却速度快等。其缺点是制品的端部会有缺陷,压力过低时容易导致水渗入制件与型腔之间,影响制件表面质量。

图1示出4种水辅注射成型的工艺原理。

另外,利用水辅注射成型技术加工制件时,在工艺控制方面还应注意以下几点:

- (1)对水的注射压力和流动速率必须严格控制,过低的压力和流动速率会使水在注入高温塑料熔体时产生气化或湍流现象,导致制件内表面布满气泡,影响制件质量。
- (2)采用水辅注射成型时,一个非常关键的问题是如何选择理想的注入聚合物熔体和注射水之间的时间间隔。通常情况下应留有一定的延迟时间,使得熔体外表面和型腔有一个回弹的余地,延迟时间的长短对制件最终成型质量有很大的影响。
- (3)成型结晶性塑料如尼龙66和PP类时,由于和水接触可能导致冷却速度过快,一般应采用水辅和气辅注射成型

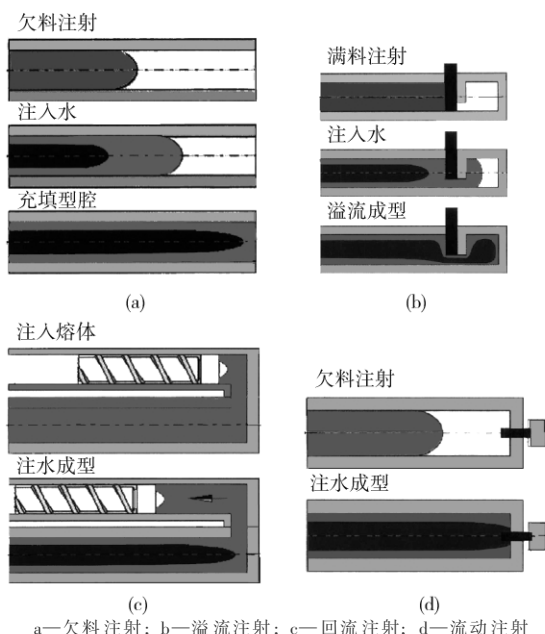


图 1 4 种水辅注射成型的原理

相结合的方法成型,在水辅注射成型之前先注入气体成型外部轮廓而不冷却内部熔体。

(4) 在制件工艺设计方面,应避免十字交接。水在制件内部可以分成多个流动通道,但是这些流动通道应尽量避免交叉,否则将会有很大的压力降,而且会给后面的排泄造成困难。

(5) 无论采用何种水辅注射成型方法,水的密封和排泄是一个非常关键的环节。密封不及时容易产生飞溅水花;如果水进入型腔,往往会引起制件表面缺陷。通常可以利用重力作用自动排出,但也有人提出对于光敏性塑料可以通过在水辅注射完成之后辅以注入压缩气体的方式排水,这样可以避免制件由于感光作用而发生化学变化,影响制件的性能。

4 成型设备

水辅注射成型技术由于其工艺的特殊性,要求在传统的注塑机基础上增加一套水辅装置,并且对熔体的注射量和注塑压力都有较高的精度要求,即要求使用精密注塑机。水辅注射成型系统的基本组成如图 2 所示。

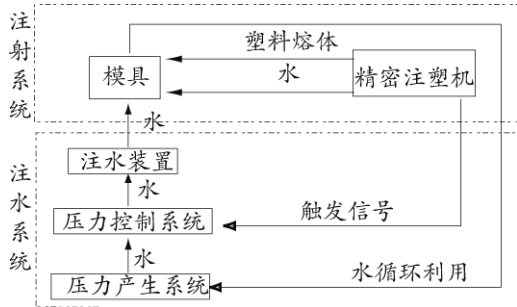


图 2 水辅注射成型系统组成示意图

几乎所有的水辅注射成型技术的研究开发都是在欧洲,而设备的生产厂家几乎都在北美地区。在技术方面,目前主要有 7 家公司的技术比较成熟,其中包括奥地利 Battenfeld

公司、澳大利亚 Engel 公司及德国 Ferromatik Milacron 公司等 3 家主要从事压力控制研究的公司,以及美国 Alliance Gas Systems 公司、Cinpres Gas Injection 公司,德国 Maximator 公司、PME 公司等 4 家可以独立提供水辅注射成型设备的公司。另外,德国 Rhodia Engineering Plastics 公司是一家专门从事水辅注射成型原料生产的公司。

在设备方面,美国 Alliance Gas Systems 公司最新推出了 HMP-3 型多功能全自动 Hydrojection 水辅注塑机,可用于水辅注塑和气辅注塑,该设备主要采用压缩空气排水,水的注射压力可以达到 34.5 MPa,通常为 6.9 ~20.7 MPa。奥地利 Battenfeld 公司也推出了自行设计的可移动的 Aquamold 供压系统,通过控制面板其注射压力也可以通过 Unilog B4 系统调节,最高水压可达 30 MPa,流速 60 L/min;水的注射入口同时也是排泄口,也可以通过压缩空气排水。该系统最大的特点是可以同时供应几台成型设备。

另外其它几家公司也都有自己的最新成果。例如,澳大利亚 Engel 公司最新推出的机动水辅注塑机 Watmelt,可用于多点进浇和多腔注射成型;德国 Ferromatik Milacron 公司的 Aquapress 主要应用于回流和溢流注射成型;而 Maximator 公司也开发了水辅注塑机 WID-Technik;目前该公司正和 Bayer AG 公司联合开发全水压喷嘴注射成型设备。

在技术方面,德国亚琛理工大学塑料加工研究中心 IKV 的 Tim Juentgen 和 Oliver Groenlund 合作开发了一项水辅注射成型新技术,可以生产复杂的中空制件,目前只适用于加工热固性塑料,但 IKV 公司正致力于热塑性塑料如 PP、PBT、尼龙及 SEBS 的性能测试。据设计者透露,该技术将应用于汽车工业。

5 应用现状

目前约有 60 家公司采用水辅注射成型技术开始进行商业化生产,主要集中在水辅注射成型技术起源地欧洲,应用范围涉及汽车、生活用品及工业方面。国外一些汽车厂家诸如大众、奥迪及克莱斯勒汽车公司已经开始利用水辅注射成型技术实验性地生产一些汽车零部件,如汽车输油管、车门把手、行李架、汽车仪表盘、缓冲器、离合器踏板,以及驾驶杆支持架等。另外水辅成型技术在其它方面如童车、办公用品、炊具把手、户外运动设备及挂物架等也都有了一定的尝试。

在具体应用方面,首次运用水辅注射成型技术进行商业化生产的是德国 Sulo GmbH 公司^[6],该公司于 1998 年利用水辅注射成型技术生产了世界上第一辆全 PP 购物车,3 个组件直径从 20 ~60 mm 不等、长 800 ~1500 mm,成型周期只有 68 s,而采用气辅注射成型技术成型则需要 280 s。

目前,欧洲第三大玩具厂商法国 Smoby SA 公司已经开始利用 Battenfeld 公司的 Aquamold 系统商业化生产了一种新型三轮童车的前轮叉和把手,材料为 PP,前轮叉重约 350 g,手把约 400 g,这是 Aquamold 技术首次应用于商业化生产^[7]。

另一方面,奥地利 Schneegans Silicon 公司利用 Engel 公

司的 Watermelt 为德国宝马汽车公司生产的计油游标,长 450 mm、壁厚 15 mm,使用的材料为 Du Pont 公司的尼龙。Engle 公司利用自己的 Watermelt 技术通过溢流注射成型工艺生产的板条箱,其体积为 406.4 mm × 609.6 mm × 279.4 mm,一模四腔,可实现一次注射成型。

6 关键技术

尽管水辅注射成型技术在许多方面比气辅注射成型或常规注塑方法都有无与伦比的优越性,但尚有其自身的不足,而且由于发展时间短,在成型理论方面还没有较好的理论建模和算法;在技术、工艺等方面都还很不成熟。目前水辅注射成型技术亟待解决的关键性问题主要有:(1)成型原理的理论描述及模型构建;(2)水的温度、压力、流动速率的控制;(3)水的注入部位、注入方式的选择,问题主要集中于注水孔和阀门的设计及模具的调整;(4)水的注入延迟时间对制件性能的影响与控制;(5)水对聚合物结晶性能的影响,即聚合物的性能测试问题;(6)水的密封、排泄等问题。

当然,与之相应的设备、模具设计及控制技术如何实现

等,这一系列问题都亟待于进一步研究和发展。

7 结语

水辅注射成型工艺作为一种新兴的注射成型技术相对于其它注射成型工艺有着明显的优势,但由于该工艺是一项综合技术,而且发展时间短,成型机理、工艺、模具和设备等各方面都有待于深入研究。目前我国的水辅注射成型技术尚处于起步阶段,随着塑料、电讯、汽车及制造技术等工业的发展,必将推动这一新技术的引进、研究和发展。

参考文献

- 1 Patrick A T. *Plastics Engineering*, 2005, 61 (6) : 14
- 2 雷军,等. *塑料科技*, 2004 (8) : 48
- 3 Mikell Knights. *Plastics Technology*, 2002, 48 (4) : 42
- 4 [美] Jack Avery. *气体辅助注射成型原理及应用*. 杨卫民,等译. 北京:化学工业出版社,2003.
- 5 Mikell Knights. *Plastics Technology*, 2002, 48 (4) : 80
- 6 Matthew H N. *Plastics Technology*, 2004, 50 (12) : 40
- 7 Mikell Knights. *Plastics Technology*, 2005, 51 (9) : 54

SUMMARIZATION OF WATER-ASSISTED INJECTION MOLDING TECHNOLOGY

Sun Ling, Liu Donglei

(Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330029, China)

ABSTRACT Water-assisted injection molding is a new injection molding process which develops on the basis of gas-assisted injection molding. The working principle, working characteristic, processing techniques, equipment, application and developing status are summarized, and several key problems to be solved are indicated.

KEYWORDS water-assisted injection molding, processing technique, molding equipment

天冠集团生产出全降解塑料

作为我国首家用二氧化碳为原料生产全降解塑料的企业,天冠集团最近取得了突破性进展,所生产的全降解塑料(聚碳酸亚丙酯树脂)经有关部门检测其各项指标全部合格。该产品最大的特点是,经堆肥可在 3 ~ 6 个月内完全降解而不污染环境。二氧化碳是酒精生产过程中产生的副产品,现售价约 800 元/t,用它为原料生产的全降解塑料售价为 2 万多元/t。(东方今报)

PVC 抗静电增塑剂通过鉴定

由杭州市化工研究院有限公司自主研发的 PVC 抗静电增塑剂项目最近通过鉴定。与会专家一致认为,随着 PVC 工业的发展,抗静电增塑剂作为功能化、专用型增塑剂具有良好的发展空间。该增塑剂以脂肪族多元酸与乙氧基醚进行酯化,再辅以具有耐高温性能的表面活性剂,制得最终产品,已获得国家发明专利。经多家用户使用,其抗静电及增塑效果优良。(化工报)

工业化尼龙 6 纳米复合材料又添新品

美国 Nycoa 公司新近推出两种工业化尼龙 6 纳米复合材料,商品名分别为 nanoTUFF 和 nanoSEAL。该材料的弯曲弹性模量比纯尼龙 6 高 75%,热变形温度高 16%。

Nycoa 公司采用专有的间歇聚合工艺生产这两种材料。在聚合过程中,经表面处理的纳米粘土完全插层于高熔体强

度的尼龙 6 中,从一定程度上束缚了尼龙分子链运动,形成尺寸稳定性和刚性比纯尼龙更好的材料。

TUFF 专用于要求质轻和高抗冲的运动器械中的刚性部件,其弯曲弹性模量比传统高刚性尼龙高 420 ~ 1 015 MPa,刚性高于传统高刚性尼龙约 70%;SEAL 的优点为具有较高的燃油阻隔性,可满足汽车工业对汽油泄漏日益提高的严格要求,而且加工方法与纯尼龙相近,可采用注塑、吹塑和挤出成型,制得具有阻隔性的制品。(助剂网)

青岛顺德 PE 护舷生产线推向市场

由青岛顺德塑料机械有限公司研制成功的 PE 护舷生产线已正式推向市场。其研发的各项经济技术指标均达到国际先进水平,属国内首创。近几年来,特别是我国加入 WTO 之后,国际贸易越来越活跃,海上运输已成为国际贸易的主要交通枢纽,同时也带动船舶业的迅猛发展。制造大型 PE 发泡方棒用作保护码头、船体的护舷,是替代钢护舷、木护舷的新产品,这种 PE 护舷在日本、韩国、澳大利亚及我国香港等许多国家和地区都得到大量应用。该公司组织专业技术力量研制的 PE 护舷生产线自动化程度高,操作简便,价格仅为进口设备的 1/40,而且具有优良的防腐、耐弯、耐冲击、耐磨、使用寿命长等特点,符合国家化学建材产业实现“以塑代木,以塑代钢”的发展目标。在水中 PE 护舷使用寿命能达到 80 年以上,比钢材长 40 倍。(中塑在线)