

变模温注塑技术的研究与应用分析

王桂龙, 赵国群, 李辉平, 管延锦

(山东大学模具工程技术研究中心, 山东 济南 250061)

摘要:变模温注塑是一种基于动态模温控制策略的注射成型技术,可根据不同工艺阶段的特点,随时调整模具温度,可在不降低生产效率的同时有效提升塑件的品质。在深入回顾变模温注塑技术研究发展的基础上,分析比较各种技术的优缺点和应用范围。构建了蒸汽辅助加热变模温注塑系统,实现了平板电视机面板的高光无熔痕注塑生产。

关键词:变模温注塑;动态模温控制;电加热;蒸汽加热;平板电视机面板

中图分类号:TQ320

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2009)02-0024-04

Study of variotherm injection molding technology and analysis on its application

WANG Gui-long, ZHAO Guo-qun, LI Hui-ping, GUAN Yan-jin

(Mold & Die Engineering Technology Research Center, Shandong University, Ji'nan 250061, China)

Abstract: Variotherm injection molding is an injection molding process based on dynamic mold temperature control strategy, in which mold temperature can be changed timely according to the requirements of different process stages. With this molding technology, the quality of the plastic part can be improved greatly without decreasing the production efficiency. The research status of variotherm injection molding techniques and their characteristics are further reviewed and analyzed in this paper. Combined with practical application, the advantages and disadvantages of different kinds of variotherm injection molding techniques are analyzed and compared. A variotherm injection molding system with steam heating is constructed. With this molding system, LCD panels with high surface gloss and no weld mark are successfully manufactured.

Key words: variotherm injection molding; dynamic mold temperature control; electric heating; steam heating; LCD TV panel

随着家电、通讯、消费电子、汽车内饰、光电等产业的发展,消费者对塑料制品提出了壁厚更薄、结构更复杂、表面更美观、强度更高等方面的要求。对于传统的注塑成型技术,采用的是一种恒温的模温控制策略,由于受到成型周期的限制,模具温度相对较低(一般小于 80℃)。在注射成型过程中,低模温将会导致聚合物熔体在冲模流动过程中伴随着冷却的发生,因提前冷却而在型腔壁形成冷凝层,会阻碍熔体的成型,降低熔体的充模能力和转印能力。因此,传统的注塑成型技术很难应用于成型透明度较高的光学产品、表面具有微结构的塑件、强度较高的复合材料制品以及流长比较高的超长薄壁件或大型覆盖件等^[1-4]。另外,聚合物熔体过早地冷却还将导致塑件表面熔接痕、流动痕、凹陷等表面缺陷,从而极大地降低了产品的表面质量,通常需要打磨、喷涂等后续加工工序加以掩盖,这不仅增加了生产成本和能源消耗,同时还会对环境造成污染,对操作人员的

健康也带来不利的影响。从上面的分析可以看出,传统的注塑成型技术已经很难适应注塑工业的发展需求,市场迫切需求新的成型技术以解决上述成型问题。

近几年来,气辅、水辅等新注塑成型技术的出现在一定程度上提高了熔体的充填能力,使得可以成型大流长比的塑料制品,但是它们并没有从本质上改变聚合物熔体的填充环境,故利用这种技术成型制品的残余应力较大,同时过大的注射压力和保压压力还将导致能源消耗和生产成本的增加,并且制品的表面缺陷仍然无法彻底解决。市场迫切需要一种能够彻底解决上述缺陷的新的注塑成型技术。变模温注塑成型技术采用一种动态的模温控制策略,即在射胶前快速加热模具,以实现高模温注射,随后通过快速冷却以缩短成型周期,因而在不降低生产效率的同时,从本质上克服了传统注塑成型技术的固有缺陷。研究开发一种高效、实用的动态模温

收稿日期:2008-10-14

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAF02A05)

作者简介:王桂龙(1983-),男,博士生,0531-88392811, WGL0506@yahoo.cn;赵国群(1962-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为塑性成型理论、数值模拟方法、新工艺开发与装备。

控制系统,对于变模温注塑技术的推广应用具有十分重要的意义。

1 变模温注塑的工艺原理

与传统的注塑工艺不同,变模温注塑可根据各工艺阶段的特点,随时调整模具温度。根据模具温度在一个成型周期的变化历程,可将变模温注塑工艺划分为模具加热、高温保持、模具冷却、低温保持4个工艺阶段。在射胶之前,将模具型腔表面加热至工艺要求的温度值,一般来讲应当高于聚合物的玻璃化转变温度,然后开始注射;在熔体充模流动过程中,模具温度始终保持在一个相对较高的水平上;随后在保压阶段的后期或注塑机开始溶胶时,快速冷却已定型的聚合物熔体。由于射胶时需要较高的模具温度,如果采用常规的加热、冷却方法,势必会延长成型周期,所以变模温注塑需要采用快速加热和快速冷却技术,故变模温注塑又可称之为快速热循环注塑(RHCM)。基于这种动态的模温控制方式,不但可以提高熔体的充模流动能力,减小射胶压力,而且还可以降低注射速率和熔体充模过程中受到的剪切力,从而减小最终成型塑件的残余应力和翘曲变形。由于高模温注塑可以有效避免在成型腔壁处形成冷凝层,因此可以消除塑件表面的熔接痕、浮纤等缺陷。另外,对于厚壁塑件(厚度大于6 mm),利用传统注塑工艺,其成型周期相对较长,但对于变模温注塑工艺,由于其采用了快速冷却方法,所以可以极大地减少冷却时间和成型周期,从而提高生产效率。

2 动态模温控制方法

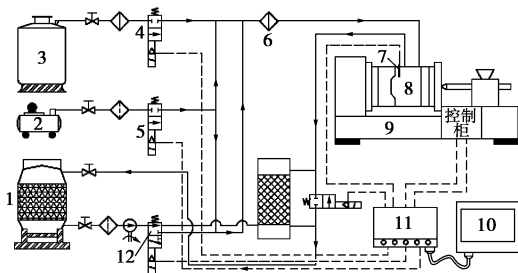
动态模温控制是变模温注塑工艺的关键技术,针对这一技术,国内外研究人员已经做了大量的工作。模具的快速冷却一般可以利用高速流动的低温冷却介质将热量带走,或直接采用自然空冷的方法即可满足工艺要求。模具的快速加热则有很多方式,例如蒸汽加热、电加热、电磁感应加热、红外加热、热传导加热等,但总的来说,可以将其分为内部加热、外部加热和直接加热三大类。

2.1 模具内部加热

模具内部加热法就是通过模具内部嵌入加热单元或将加热介质导入模具内部管路以快速加热模具。高温蒸汽加热、高温油加热、电加热等都属于此类加热方法。

2.1.1 蒸汽辅助加热

蒸汽辅助变模温注塑是利用一模温控制装置将高温蒸汽和冷凝水循环交替引入模具的内部管路,以实现模具的快速加热与冷却。图1给出了蒸汽辅助加热变模温注塑系统组成示意图,其中实线表示连接管路,虚线表示控制信号连接线。注塑机控制合模时,蒸汽阀打开,将高温蒸汽导入模具内部管路以加热模具;当型腔表面温度达到工艺要求值时,关闭蒸汽阀以停止加热;在射胶过程中,利用管路中残余的高温蒸汽可以将型腔表面温度维持在设定值附近,以保证熔体顺利充模。在保压阶段后期,打开进水阀,将低温冷却水引入模具管路以快速将已赋形的熔体冷却至聚合物顶出温度以下,以便开模取件。当模具温度被冷却至设定温度低限以后,应关闭进水阀,并打开空气阀,以将管路中残留的冷却水排出,为下一工作循环的模具加热做准备。油加热变模温注塑工艺与蒸汽辅助加热变模温注塑工艺类似,但油的加热效率相对较低,且模具内部高温油的加热管路与冷却水的冷却管路需要分开,从而也增加了模具的加工难度。

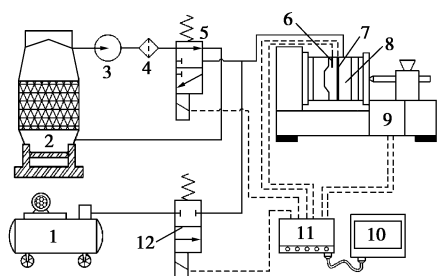


1—冷凝塔;2—空压机;3—蒸汽锅炉;4—蒸汽阀;5—空气阀;
6—过滤器;7—热电偶;8—模具;9—注塑机;10—触摸屏;
11—控制单元;12—进水阀

图1 蒸汽辅助加热变模温注塑系统

2.1.2 电加热

对于电热式变模温注塑,在加热阶段,利用电热棒将模具型腔表面的温度加热至塑料的玻璃化转变温度以上。当型腔表面温度达到工艺要求后,停止加热,从而进入高温保持阶段。在高温保持阶段,注塑机需要完成注射、保压操作。在保压操作的后期,向模具冷却管道中通入冷却水,以迅速冷却已赋形的聚合物熔体。在冷却阶段,塑件将被冷却至顶出温度以下,以便开模取件。冷却阶段结束后,即进入低温保持阶段。在这一阶段需要将冷却管道中的冷却水排出,为下一注塑循环的模具加热做好准备。图2给出了电热式变模温注塑系统组成示意图,其中实线表示连接管路,虚线表示控制信号连接线。



1—空压机;2—冷却塔;3—增压泵;4—过滤器;5—进水阀;
6—热电偶;7—加热棒;8—模具;9—注塑机;10—监控界面;
11—控制器;12—进气阀

图 2 电热式变模温注塑系统组成示意

2.2 模具外部加热

模具外部加热指的是直接加热模具的型腔表面。这种加热方式的特点是能量消耗较小,型腔表面因受热而引起的热变形也比较小,但应用这种加热方式构建的变模温注塑系统一般结构比较复杂、成本高,稳定性和可操作性较差,目前还无法应用于大批量的工业生产。

2.2.1 高温气体加热

与蒸汽辅助加热不同,高温气体加热技术是模具闭合后将高温气体(例如高温氮气)通过喷嘴和流动系统引入模具型腔中直接加热型腔壁^[5]。因气体的比热和模具钢材比热数级上的差异,高温气体所导入的热量可以迅速被高热传系数的模具钢材吸收,但是所导入的气体热量仅能加热模具钢材表面极小厚度的区域,因此利用气体式变模温方式只会瞬间加热模具表面,大约只加热模具表面深度 0.1 mm 的钢材区域,并不会加热整个模具镶块。因此,这种加热方式所引起的变形相对较小,有利于保证较高的模具配合精度,提高模具的使用寿命。

2.2.2 电磁感应加热

电磁感应模具加热技术是在模具打开后,通过辅助机构将电磁感应线圈深入到动、定模之间,利用电磁线圈产生的交变磁场,在磁场作用下模具表面会产生涡流,从而加热模具^[6-8]。这种加热方法的特点是加热效率高,能量消耗小。但是受到感应线圈形状的限制,其不适用加热具有复杂结构或大尺寸的模具型腔,另外,利用这种方法加热的模具表面,其温度均匀性较差。因此,电磁感应加热变模温注塑技术一般应用于批量不是很大的微注塑成型领域。

2.2.3 红外线加热^[9-11]

红外线模具加热技术是在模具闭合之前,利用辅助驱动机构将红外线发射装置(如卤素灯)深入

动、定模之间,利用红外线的热辐射作用加热模具型腔。这种加热方法同样具有较高的加热效率和能源利用效率,但受到红外线发射装置尺寸和形状的限制,利用该加热装置的变模温注塑技术一般应用于微射出成型领域。

2.2.4 火焰加热

与电磁感应加热、红外加热类似,火焰加热是在开模状态下将高温火焰加热模具型腔壁。利用这种方法构建的变模温注塑系统具有结构简单、加热效率高特点,但加热功率大小不易控制,从而导致型腔表面的温度大小和温度分布的均匀性难以控制,且同样难以应用于复杂型腔表面的加热。

2.2.5 复合模壁加热

复合模壁加热变模温注塑技术是在模具表面镀上一层具有高导热系数的材料,如金属材料^[12-13]、热解石墨^[14]等,作为模具型腔壁,然后利用其电热作用以升高自身温度。为了提高加热效率,一般还要在模具基体与加热层之间增加一层导热系数较低的材料,如氧化物、聚合物材料等。图 3 给出了其结构组成。这种加热方法温度控制方便,反应灵敏,结构相对简单。但是对于结构复杂零件,电镀层的制作还有待进一步完善解决。另外,由于频繁的加热冷却交替,在热应力的作用下,镀层间容易发生疲劳破坏,故这种模具结构的寿命较低。

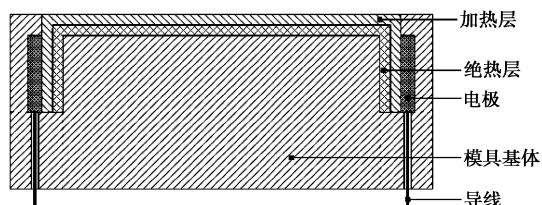


图 3 复合模壁加热系统结构组成

2.3 直接加热

直接加热法就是在熔体填充过程中,将能量直接作用于聚合物熔体上,以提高熔体温度,防止其提前冷却。这种加热法一般用微射出成型的局部加热。Takushi 和 Isao^[15]以 10.6 μm 的 CO_2 激光束作为辐射能量源,加热时激光透过由 ZnS 构成的透明模具型腔壁,直接作用聚合物熔体,从而阻止了填充过程中熔体温度的降低,提高了熔体的填充能力,改善了分子取向。

3 推广应用

由于蒸汽辅助加热变模温注塑技术具有结构简单、生产效率高、热源充足稳定、可操作性高等

优势,受到了注塑行业的青睐。尤其是在液晶电视面板制造领域,由于利用蒸汽辅助加热变模温注塑技术制造的面板塑件,具有高光、无熔痕、无流痕等特点,不需要打磨、喷涂等后处理工艺,因此该技术已逐步取代了传统的注塑成型加工技术。2007年,山东大学模具工程技术中心与海信模具有限公司合作开发出了具有自主知识产权的蒸汽辅助加热变模温注塑技术,并将其成功应用于平板电视机面板的制造。截至目前,已构建了10余条变模温注塑生产线,生产面板50多万件,创造了良好的经济效益和社会效益。图4、图5分别为构建的变模温注塑生产线和生产的具有极佳表面质量的平板电视机面板塑件。



图4 蒸汽辅助加热变模温注塑生产线

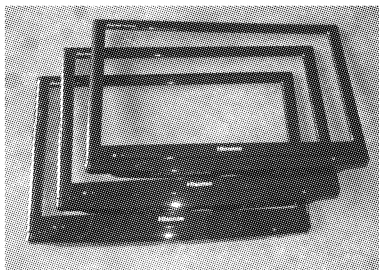


图5 高光无熔痕的平板电视机塑件

4 结论与展望

本文从动态模温控制的角度深入介绍了变模温注塑技术的发展现状,分析了各种变模温注塑技术的特点,结合生产实际,给出了它们各自的技术优势,同时也指出了各自需要完善和解决的问题。变模温注塑技术作为一种先进的绿色注塑工艺,虽然处于刚刚起步阶段,但它代表了当代注塑行业的发展方向。在未来几年,无论在技术开发方面还是推广应用上,变模温注塑技术都将获得更大的发展,也必将

成为注塑领域的研究重点和热点。

参考文献

- [1] Rhee B O, Kim C S, Lee K, *et al*. Evaluation of momentary mold surface heating (MMSH) process[C]//SPE. SPE ANTEC Tech Paper, Boston: SPE, 2005: 35 - 38.
- [2] Kim D H, Kan M H, Chun Y H. Wonder injection molding with momentary mold surface heating process (MMSH Process) [C]//SPE. SPE ANTEC Tech Paper, Orlando: SPE, 2000: 3841 - 3844.
- [3] Chen Ming, Yao Donggang, Kim B. Eliminating flow induced birefringence and minimizing thermally induced residual stresses in injection molding part[J]. *Polymer-plastic Technology and Engineering*, 2001, 40(9): 491 - 503.
- [4] Chen S C, Chang Y, Chang T, *et al*. Influence of using pulsed cooling for mold temperature control on microgroove duplication accuracy and warpage of the Blu-ray Disc[J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2004, 31(7): 971 - 980.
- [5] 叶俊锋. 气体辅助动态模温控制系统建置与分析之研究[D]. 中坻市: 中原大学, 2007.
- [6] Chen Shiachung, Jong Wenren, Chang Jenan. Dynamic mold surface temperature control using induction heating and its effects on the surface appearance of weld line[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2006, 101: 1174 - 1180.
- [7] 杨坤颖. 感应加热动态模温即时监视与控温方式之研究[D]. 中坻市: 中原大学, 2007.
- [8] Chen Shiachung, Chang Jenan, Jong Wenren. Simulation and verifications of induction heating on a mold plate[J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2004, 31(7): 971 - 980.
- [9] 张沛顺, 陈建羽, 黄圣杰, 等. 红外线变模温系统设计与分析[C]. CAE Molding Conference, 竹北市: 台湾区计算机辅助成型技术交流协会, 2007: A17.
- [10] Chang Peichi, Hwang Shengjye. Simulation of infrared rapid surface heating for injection molding[J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2006, 49(21/22): 3846 - 3854.
- [11] 游若景. 快速加热系统于微射出成型之应用[D]. 台南市: 国立成功大学, 2007.
- [12] Jansen K M B, Flaman A A M. Construction of fast response heating elements for injection moulding applications[J]. *Polymer-Plastic Technology and Engineering*, 1994, 34: 194 - 197.
- [13] Yao Donggang, Kim B. Development of rapid heating and cooling systems for injection molding applications[J]. *Polymer Engineering & Science*, 2002, 42(12): 2471 - 2481.
- [14] Yao Donggang, Kim B. Development of rapid heating and cooling systems using pyrolytic graphite[J]. *Applied Thermal Engineering*, 2003, 23(3): 341 - 352.
- [15] Takushi S, Isao S. A new concept of active temperature control for an injection molding process using infrared radiation heating[J]. *Polymer Engineering and Science*, 2002, 42(12): 2418 - 2429. ■

欢迎订阅《现代化工》杂志, 邮发代号 82—67。