

变模温注塑冷热交替循环流体系统设计*

郭幼丹

程晓农

(集美大学机械工程学院, 厦门 361021) (江苏大学, 镇江 212013)

摘要 通过对冷热交替循环系统冷热介质的流动过程及传热过程的分析,构建冷热介质流动与传热数学模型,提出冷热交替循环系统设计的方法,同时提出通过水流速度变化来控制注塑温度的方法,为高精度、高品质塑料件的生产提供依据。

关键词 变模温 注塑 冷热交替循环 传热过程 最佳水流速度

冷热交替循环系统是变模温注塑技术的关键技术,因此系统的设计与冷热介质流动过程的控制将直接影响到高精密度、高品质塑料件的生产。近年国内外研究者对变模温注塑技术开展研究^[1-7],如日本的 RHCM 等采用高温高压蒸汽作为传热介质、韩国的 TITAN 等采用高温高压水、韩国的 DMOLD 等采用电加热、德国等一些国家采用电磁感应、灯管加热,山东大学的王桂龙提出蒸汽辅助加热将模温迅速升高的方法,但对变模温注塑技术中冷热交替循环流体系统的研究较少。笔者通过对冷热交替循环系统冷热介质的流动过程及传热过程的分析,构建冷热介质流动与传热数学模型,提出冷热交替循环系统设计的方法,同时提出通过水流速度变化来控制注塑温度的方法,为高精密度、高品质塑料件的生产提供依据。

1 系统传热与数学模型建立

1.1 变模温冷热交替循环注塑工艺

笔者设计的变模温冷热交替循环注塑工艺流程如图 1 所示。

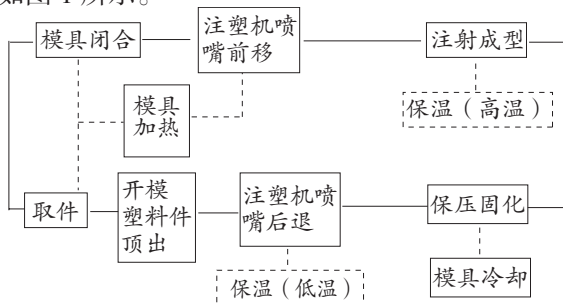


图1 变模温注塑工艺流程

从图 1 可以看出,变模温注塑工艺是在传统注塑工艺的基础上增加了冷热交替循环系统,实现模具快速加热、高温保温和快速冷却。首先在塑料熔体充型前,通过冷热交替循环系统中的高温介质对模具进行快速加热,将模具温度迅速升高到塑料的

玻璃化转变温度(T_g)以上,克服塑料熔体在充型过程中不断被冷凝固化的现象,改善塑料熔体在充型过程中的流动行为;在高温保温阶段,冷热交替循环系统维持模具温度在 T_g 以上,实现塑料熔体的充分充型;在冷却阶段,通过冷热交替循环系统中的低温介质对模具进行快速冷却,使塑料件迅速冷却至开模温度,完成塑料件的固化。

1.2 系统传热过程分析

试验表明,注塑过程中的热量传递主要集中在塑料熔体与塑料熔体流道表面间的接触传热,其它方式的传热较为有限,其系统传热分析模型如图 2 所示。

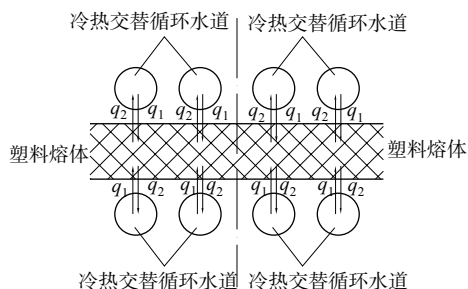


图2 二维传热分析模型

在图 2 中, q_1 为冷热介质与塑料熔体和模具间的平均传热密度, q_2 为塑料熔体和模具与支撑柱间的平均传热密度。若充型过程中 $q_1 < q_2$,模具温度低于塑料熔体的温度,随着流动过程的进行,塑料熔体的温度会急剧降低到型腔壁的温度,在型腔壁表面会形成冷凝层,很难做到完全充型,各种注塑缺陷随之产生。若 $q_1 > q_2$,模具温度过高,则容易使塑料产生分解,破坏塑料性能。只有当 $q_1 = q_2$ 时,模具温度与塑料熔体温度相当,才能有效地克服塑料熔体在

* 国家自然科学基金项目(50372027);福建省教育厅科技项目(JB08178)

收稿日期: 2011-09-25

充型过程中不断被冷凝固化的现象,同时改善塑料熔体在充型过程中的流动行为,因此,可以认为模具和塑料熔体间的热量传递是通过冷热交替循环系统中冷热介质以及流动速度的变化来实现,而冷热交替循环系统介质流动速度的设计就是要保证注塑过程中热量的传递按照有利于充型的过程发展,提高充型效果;同理可得,在冷却过程中则应使热量传递有利于向塑料件冷却的过程发展。

1.3 系统传热数学模型建立^[8-9]

传热过程中,传热介质与模具(升温过程)、熔融塑料与传热介质(冷却过程)的传热是个非稳态过程。根据传热学基本原理及能量守恒定律,非稳态导热的微分方程为:

$$\rho(T) \cdot c(T) \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right] + \Phi \quad (1)$$

式中: ρ ——微元体的密度;

c ——比热容;

t ——温度;

τ ——时间;

λ ——热导率;

Φ ——单位时间内单位体积内热源的生成热。

根据热平衡规律及能量守恒定律,导热能量方程为:

$$\rho \cdot c \cdot V \frac{dt}{d\tau} = - \int_A q \cdot n dA + \int_V q_v dV \quad (2)$$

式中: V ——传热介质(或塑料熔体)的体积;

A ——传热介质(或塑料熔体—冷却时,下同)的表面积;

q ——流道与传热介质(或塑料熔体)边界面的热流密度;

n ——边界面的单位外法向向量;

q_v ——传热介质(或塑料熔体)内热源的发热率。

式中等号右边第一项代表整个边界面与传热介质(或塑料熔体)的换热热流量 q ,第二项代表内热源产生的热量 q_v 。

代入边界条件积分,传热介质(或塑料熔体)温度变量为:

$$T = T_i - (T_i - T_f) \left[1 - \exp \left(- \frac{1}{R_a C} t \right) \right] \quad (3)$$

式中: T ——传热介质(或塑料熔体)冷却最终温度;

T_i —— i 时刻传热介质(或塑料熔体)的温度;

T_f ——环境温度,一般取 25℃;

R_a ——传热介质(或塑料熔体)总热阻;

C ——传热介质(或塑料熔体)的总热容量。

以丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)生产电话机面板为例,注塑机合模时,冷热交替循环系统热水阀打开,系统向内部管道中通入 195℃ 的高温热水对模具进行加热,模具表面快速升温至塑料熔体的注射温度(塑料的 T_g),式(3)中 T 随时间呈指数关系变化,模具温度随时间变化曲线由模具的总热容量及传热介质与模具的总热阻来决定,而总热阻又由传热介质与模具间的接触热阻决定;当型腔表面温度升高到 120℃ 时开始注射,此时利用系统管路中残余的高温热水可将型腔表面温度维持在设定值附近,传热过程处于动态平衡状态;注射保压完成后,关闭热水阀,打开冷水阀,系统向管道中通入 20℃ 的冷却水进行快速冷却,式(3)中 T 仍然随时间呈指数关系变化,塑料件温度随时间变化曲线由塑料件的总热容量及塑料件与模具间的总热阻来决定,而总热阻也由塑料件与模具间的接触热阻决定;当塑料件温度冷却至 40℃ 时,开模取出塑料件,关闭进水阀,同时打开空气阀,将管路中残留的冷却水排出,进入下一个循环。

2 冷热交替循环流体系统设计

2.1 冷热交替循环流体系统

变模温冷热交替循环系统是根据工艺流程的要求,利用温控系统分别将高温水和冷却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,因此,必须保证各管道都具有相同的传热效率,实现快速准确而又均匀传热。由于冷热交替循环系统是把加热、高温保温、低温冷却三种换热流程置于同一工艺系统内,在冷热交替循环系统设计时,必须把高温介质加热、介质转换(吹气)、低温介质冷却三个不同的过程用流体系统连接,完成换热过程,冷热交替循环系统组成如图 3 所示^[4]。

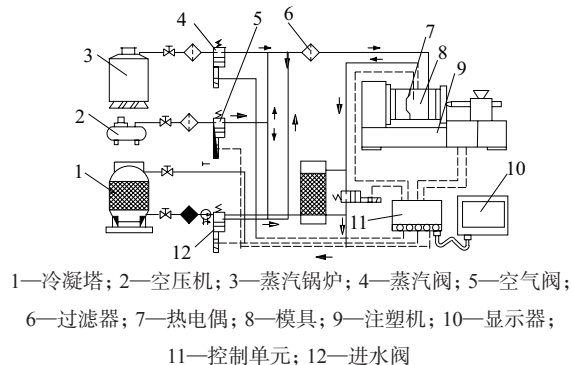
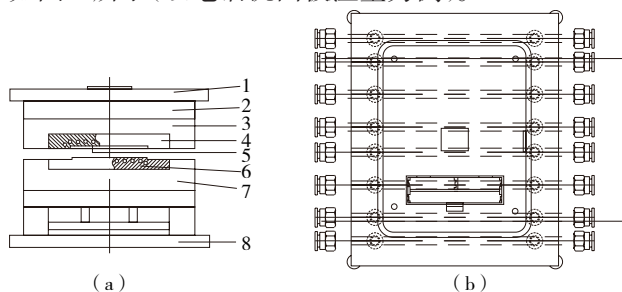


图3 冷热交替循环系统组成图

图3中实线表示连接管路,虚线表示温控系统

控制信号连接线。模具内部冷热交替循环系统设计如图4所示(以电话机面板注塑为例)。



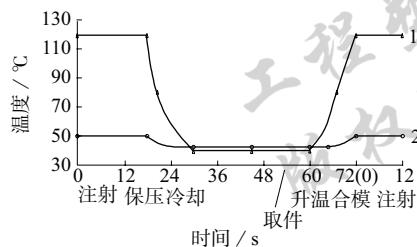
1—定模板; 2—热流道板; 3—型腔基体; 4—型腔镶块;
5—冷热交替循环管道; 6—型芯镶块; 7—型芯基体; 8—动模板

a—模具结构; b—冷热交替循环系统平面布置

图4 模具内部冷热交替循环系统示意图

2.2 温控系统设计

变模温注塑在快速加热、高温保温和快速冷却阶段对温度的要求是不同的,其温度变化曲线如图5所示。温控系统根据注塑过程温度变化情况和要求,通过对冷热交替循环系统水流速度的控制,实施对温度的管理。



1—冷热交替循环注塑模具温度变化曲线;
2—传统注塑模具温度变化曲线

图5 模具表面温度变化曲线

温度控制的方式很多,如嵌入式数字温控系统、单片机温控系统、PLC温控系统等^[10-11],对于冷热交替循环系统,主要是控制注塑过程温度变化的准确性,故其温控系统并不复杂,笔者采用DS18B20单片机温控系统,其原理如图6所示。

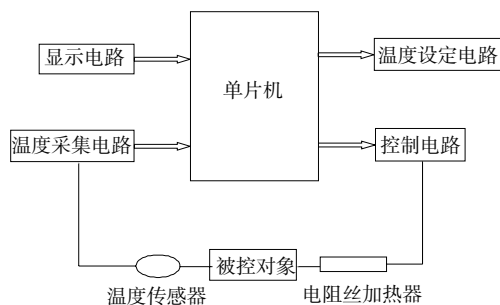


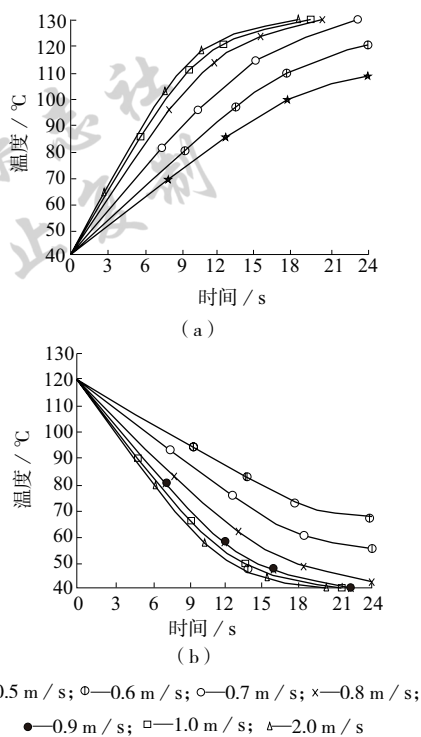
图6 控制系统框图

温控系统硬件组成以单片机为核心,由温度检测电路、显示电路、控制电路等辅助模块构成。采用

模糊控制与PID控制相结合的方法来实现温度调整。其中DS18B20具备多点测温能力,只需一个接口引脚即可通信,就能直接与单片机完成数据采集和处理,将测得的现场温度直接以“一线总线”的数字方式传输,而且与单片机的连接也十分简单,仅需占用一个双向I/O端口,无需任何外部器件即可方便地构成温度检测系统。

2.3 水流速度设计

在模具的结构和注塑冷热交替循环系统确立后,注塑过程温度的控制可以转化为冷热交替循环系统水流速度的控制,实现对注塑过程的精确控制。图7为生产ABS电话机面板时的传热效果。



a—加热过程; b—冷却过程

图7 不同水流速度的传热效果

从图7a可以看出,加热水流速度越大,加热效果越好;当加热水流速度达到一定值时,水流速度的提高对加热效果并不明显,当ABS电话机面板的水流速度约为0.80 m/s时,达到最佳加热效果。同理,冷却时冷却过程水流速度越低,冷却效果越好,冷却速度约为0.85 m/s时,达到最佳冷却效果。试验表明,水流速度与传热介质的初始温度有关,而初始温度又与塑料种类和特性(如 T_g)有关。加热时,传热介质的初始温度一般取比塑料的 T_g 高2~3℃。

2.4 最佳水流速度确定

当冷热交替循环系统水流速度满足模具升温

要求时,这个水流速度为升温最佳水流速度 U_s ;而系统水流速度满足塑料件降温要求时,这个水流速度为降温最佳水流速度 U_j 。冷热交替循环系统传热与最佳水流速度分析模型如图8所示。图8中 q_3 为支撑柱与冷热介质间的平均传热密度。

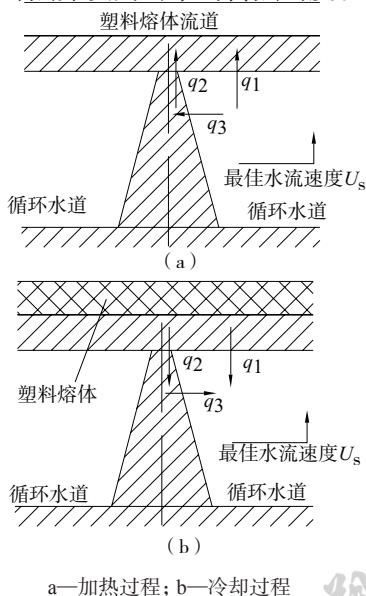


图8 最佳水流速度二维分析模型

由图8a可以看出,加热时,当 $q_1=q_2$ 时,冷热交替循环系统向模具和支撑柱传热热流密度相同,此时的水流速度即为升温最佳水流速度 U_s 。同理,冷却时,冷热交替循环系统传热介质的热量主要来自于塑料件与模具, $q_1=q_2$ 时的水流速度即为冷却最佳水流速度 U_j ,如图8b所示。

3 结论

(1) 冷热交替循环注塑系统是把加热、高温保温、低温冷却三种换热流程置于同一工艺系统内,因此,保证各管道都具有相同的传热效率,实现快速准确而又均匀传热是冷热交替循环系统设计的关键。

(2) 通过冷热交替循环流体系统传热过程分析,建立传热数学模型,可以精确得出传热过程温度的变化,设计出不同塑料件的最佳水流速度,实现对

注塑过程温度的控制。

(3) 在模具结构、冷热交替循环系统和传热介质确定的情况下,最佳水流速度与传热介质的初始温度有关,而初始温度又与塑料种类有关,注塑过程温度的控制可以转化为冷热交替循环流体系统水流速度的控制。

参考文献

- [1] Theilade U A, Hansen H N. Surface microstructure replication in injection molding [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, 33 (1-2): 157-166.
- [2] Yao D G, Kim B. Increasing flow length in thin wall injection molding using a rapidly heating mold [J]. Polymer-Plastic Technology and Engineering, 2002, 41 (5): 819-832.
- [3] Chen Shia-chung, Chang Ying, Chang Tsung-hai, 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.
- [4] 王桂龙, 赵国群, 李辉平, 等. 变模温注塑热响应模拟与模具结构优化 [J]. 机械工程学报, 2009 (6): 216-221.
- [5] Jansen K M B. Heat transfer in injection moulding systems with insulation layers and heating elements [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1995, 38 (2): 309-316.
- [6] Chen S C, Jong W R, Chang J A. 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]. 中国台湾: 中原大学, 2007.
- [8] 杨德全, 赵忠生. 边界元理论及应用 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002.
- [9] 朱巧红. 热成形模具热平衡分析及冷却系统设计优化 [D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [10] 何慧娟, 何芝仙, 赵转哲. 基于DS18B20的单片机温控系统 [J]. 科技信息, 2008 (13): 149-150, 131.
- [11] 张沛, 陈家庆. 注射模温控系统的设计计算 [J]. 模具工业, 2001 (2): 37-41.

THE DESIGN OF COLD-HOT ALTERNATION CYCLE FLUID SYSTEM IN INJECTION MOLDING OF VARIABLE MOLD TEMPERATURE

Guo Youdan

Cheng Xiaonong

(College of Mechanical Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China) (Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

ABSTRACT Flow and heat transfer process of cold-hot medium in cold-hot alternation cycle system were analyzed. The flow and heat transfer mathematics model of cold-hot medium was set up. Method of cold-hot alternation cycle system design and controlling injection molding temperature by changing water flowing speed were put forward. These methods provided basis for producing high precision, high quality plastic parts.

KEYWORDS variable mold temperature, injection molding, cold-hot alternation cycle, heat transfer process, best water flowing rate