

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.04.008

基于 ANSYS 对 HRHCM 随形绝热结构热响应分析^{*}

陈广源, 张鹏

(广东工业大学材料与能源学院, 广州 510006)

摘要:采用 ANSYS 软件模拟分析模芯水热性快速热循环热响应过程,提出了一种带有随形绝热层和随形换热通道的组合式模芯换热结构,分析该特殊模具结构和绝热条件对加热冷却效率和模温均匀性的影响。结果表明,使用该结构,加热和冷却阶段所用时间分别缩短 125.0% 和 136.8%;加热速率和冷却速率分别提高 124.2% 和 135.8%;加热和冷却阶段最大温差分别降低 9.0% 和 24.2%。

关键词:水热性快速热循环;随形绝热结构;热响应分析;数值模拟

中图分类号: TQ320.5+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)04-0032-04

Thermal Response Analysis of Conformal Adiabatic Structure in HRHCM Based on ANSYS

Chen Guangyuan, Zhang Peng

(Faculty of Materials and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The thermal response process of mold core hydrothermal rapid heat cycle molding (HRHCM) was analysed by using ANSYS software, a kind of combined mold core heat exchanger structure with conformal adiabatic layer and conformal heat exchanger channel was proposed, and the impact of the special mold structure and adiabatic conditions on the efficiency of heating and cooling and mold temperature uniformity was analyzed. The results show that the time used in the heating and cooling stages are shortened by 125.0% and 136.8% respectively; heating rate and cooling rate are increased by 124.2% and 135.8% respectively; maximum temperature difference of the heating and cooling phases is reduced by 9.0% and 24.2% respectively.

Keywords: hydrothermal rapid heat cycle molding; conformal adiabatic structure; thermal response analysis; numerical simulation

塑料制品的壁厚更薄、强度更高、表面更美观已成为一种趋势。传统注塑工艺难以满足发展需要,于是水热性快速热循环注塑 (HRHCM) 工艺便应运而生。HRHCM 工艺利用高温热水和低温冷却水循环交替通入模具换热通道,实现模具型腔表面温度动态控制。该技术可以消除塑料件表面的熔接痕、凹陷、浮纤等缺陷^[1-6],并使其达到镜面光洁,还能够提高塑料件强度和表面硬度。HRHCM 是目前国内外高光注塑领域的研究热点,应用前景广阔。

HRHCM 工艺经过几年发展,却没有普及应用,除了高温热水压力高存在安全隐患外,注射周期长、能量消耗高是制约其普及的关键^[6]。笔者首先利用 ANSYS 软件模拟了 HRHCM 工艺热响应过程,通过对模拟结果的分析确定传热能量浪费的主要因素,进而提出带有随形绝热层和随形水道的组合式模芯换热模型。在温控介质相同的条件下,通过 2 种设计方案的比较,确定组合式模芯换热模型对 HRHCM 加热冷却效率和模温均匀性的影响。

1 分析条件的确立

笔者主要研究在温控介质相同的条件下,模具结构和绝热条件对 HRHCM 加热冷却效率和模温均匀性的影响,所以在进行加热冷却分析时将不考虑动模侧和聚合物熔体的影响。在分析之前,将根据快速热循环注塑工艺的特点做出一些合理假设。首先,考虑 HRHCM 工艺的温度变化范围相对较小,故可假定材料的热物理属性不随温度的变化而改变。另外,假定各层材料之间充分接触,忽略接触界面的热阻。

在注塑生产中,首先利用 160℃ 的高温热水加热模具,使型腔表面温度迅速升高至 110℃,然后将熔胶注入型腔。注塑保压完成后,利用 18℃ 的冷却水快速冷却熔体,当塑件温度冷却至 85℃ 时,开模

^{*} 粤港关键领域招标项目 (2008Z51)

联系人: 陈广源, 硕士, 主要从事水热性高光注塑模具及成型工艺研究

收稿日期: 2013-02-08

取出塑料件。

根据实际生产情况,笔者确定了分析的边界条件和初始条件。模具基体周边环境温度为 30℃,与空气间的换热系数为 20 W/(m²·℃); 高温热水与冷却水的温度分别为 160℃,18℃。冷却水和加热水的热物性参数见表 1。 $t, p, \rho, \lambda, \mu, u, Pr$ 分别表示流动介质的温度、压力、密度、导热系数、动力黏度、流速和普朗特数,其中流速 u 为经验值。

表 1 流动介质的热物性参数

项目	冷却水	加热水
$t/^\circ\text{C}$	18	160
p/MPa	1	1
$\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	998.5	907.4
$\lambda/[\text{W}\cdot(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})^{-1}]$	0.59	0.68
$\mu/[\text{kg}\cdot(\text{m}\cdot\text{s})^{-1}]$	0.001	0.00027
$u/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	1.2	1.2
Pr	7.02	1.11

冷热水与模具间的热交换过程属于无相变强制对流换热范畴,其换热系数可根据 Sheicher 与 Rouse 建议的经验公式计算^[7]。计算得 18℃ 和 160℃ 水的换热系数分别为 5 738.5 W/(m²·℃) 和 7 546.8 W/(m²·℃)。另外,各层材料及其热属性参数如表 2 所示。

表 2 模具各层材料的物性参数

项目	模芯	绝热层
材料	P20	硅酸钙
密度/(kg/m ³)	7 850	220
导热系数/[W·(m ² ·℃) ⁻¹]	45	0.062
比热容/[J·(kg·K) ⁻¹]	460	0.26

2 热响应分析几何模型

对于 HRHCM 工艺,高温热水与低温冷却水利用模内同一输送管路,进行循环交替流动。为了研究模具结构对 HRHCM 加热冷却效率和模温均匀性的影响,设立方案 I,对常用的带有直通式换热通道模芯构建了三维分析模型,取平行于换热通道截面的 1/4 二面旋转对称作为分析对象^[8],得到模芯三维几何模型,静态线框图如图 1 所示。

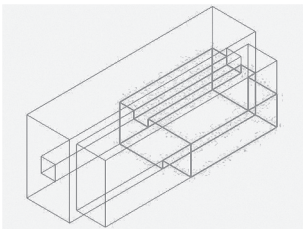
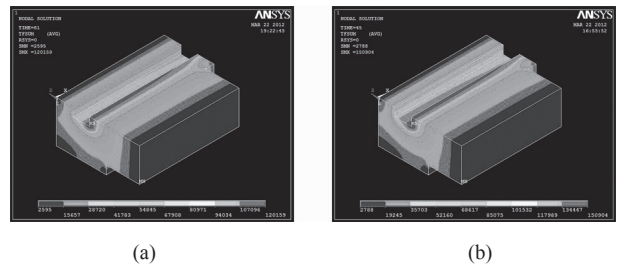


图 1 方案 I 1/4 二面旋转对称单元(粗实线)

3 热响应模拟分析与结果讨论

基于初始条件与边界条件模拟方案 I 的热响

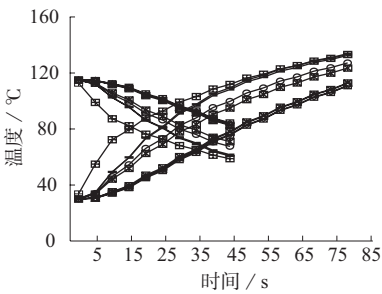
应过程,方案 I 加热和冷却阶段热量流动分布如图 2 所示。由图 2 可知,换热通道上传热量最高的部分在其左侧,即型腔面的反方向,其中绝大部分热量被换热通道相邻的模芯体吸收。这部分传热没有促进型腔面的温升,反而消耗了相当一部分能量。在冷却过程中将被冷却水带走,造成浪费的同时增加了冷却负荷。



a—加热阶段; b—冷却阶段

图 2 方案 I 加热和冷却阶段热量流动分布

图 3 为方案 I 型腔面上各端点加热和冷却阶段的温度—时间曲线图。由图 3 可看出,加热阶段方案 I 在 81 s 各端点温度从 30℃ 升高到 110℃ 以上,即 HRHCM 工艺需对该换热结构模芯加热 81 s; 同样,冷却阶段方案 I 在 45 s 各端点温度均从 115℃ 降低到 85℃ 以下,即 HRHCM 工艺需对该换热结构模芯冷却 45 s。



◇—端点1; □—端点2; △—端点3; ▣—端点4; ▤—端点5;
○—端点6; ▥—端点7; - —端点8; - -端点9

图 3 方案 I 各端点加热冷却阶段的温度响应

从图 3 还可以看出,方案 I 各端点从 30℃ 加热 81 s 和从 115℃ 冷却 45 s 过程最大温差分别是 22.45℃ 和 25.56℃,并计算出加热和冷却速率分别是 0.99℃/s 和 0.67℃/s。

方案 I 在加热 81 s 和冷却 45 s 温度分布如图 4 所示,方案 I 模芯的等温线呈自换热通道孔壁向型腔面分别逐渐降低和升高的分布,所以此时关闭换热介质(高温热水或冷却水),模芯内将继续传热且型腔面分别有升温 and 降低趋势。在换热通道附近等温线呈围绕圆孔的封闭环状。等温线与其在型腔

面上的投影之间的距离沿竖直方向有较大的波动,这样型腔面上不同点的换热速度以及换热结束时的温度都有较大差异。

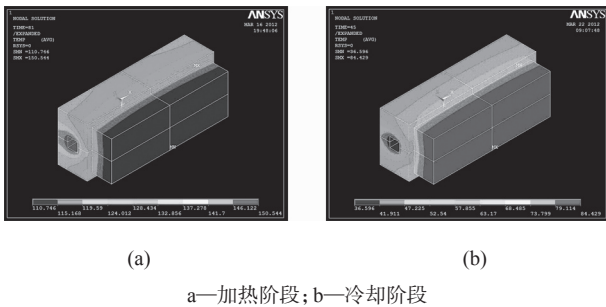


图4 方案I加热和冷却阶段温度场分布

综上分析可以看出,方案I无论在换热速度还是在热均匀度方面都有改善和提高的空间,因此有必要通过改变换热模型结构来改善方案I的问题。

基于对方案I的分析,缩短换热通道与型腔面的距离是提高快速热循环工艺换热效率的有效途径,但是模芯的制造工艺决定了这个距离不能无限减小。在高光面壳和支撑背板之间加工截面细小、密集的换热通道,须在保证强度的前提下,尽可能缩短换热通道与型腔面的距离。

因此,提出方案II,一种带有随形绝热层和随形水道的组合式模芯换热模型。构建三维分析模型,取平行于换热通道截面的1/4二面旋转对称作为分析对象,静态线框图如图5所示。

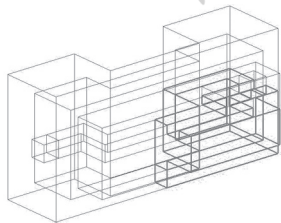


图5 方案II 1/4二面旋转对称单元(粗实线)

在防止型腔发生变形前提下,随形水道增大换热面积有利于传热,同时保持换热通道金属背板厚度的均匀,再加上金属背板上增加一层随形绝热层,进一步减少传热量浪费。其传热量分布如图6所示。

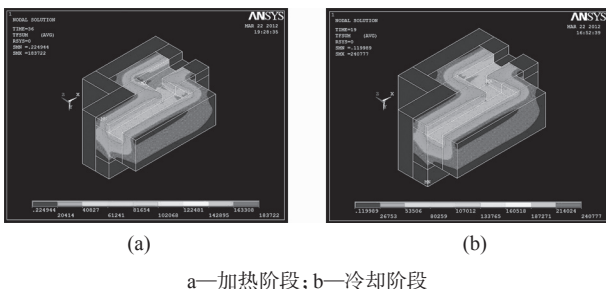


图6 方案II加热和冷却阶段热量流动分布

从图6可以看出,方案II有效换热侧面与型腔面的距离更趋于一致,且平均距离更小,型腔面方向的有效传热量成为主流,传热效率较高,能量浪费较少,将有效改善型腔面的热均匀度和换热速度。

图7为方案II型腔面上各端点加热和冷却阶段的温度-时间曲线图。由图7可看出,加热阶段方案II在36 s各端点温度从30℃升高到110℃以上,即HRHCM工艺需对该换热结构模芯加热36 s;同样,冷却阶段方案II在19 s各端点温度均从115℃降低到85℃以下,即HRHCM工艺需对该换热结构模芯冷却19 s。

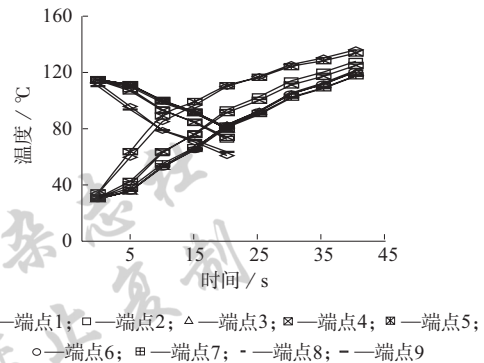


图7 方案II各端点加热冷却阶段的温度响应

从图7还可以看出,方案II各端点从30℃加热36 s和从115℃冷却19 s过程最大温差分别是20.59℃和20.58℃,并计算出加热和冷却速率分别是2.2℃/s和1.58℃/s。

方案II在加热36 s和冷却19 s的温度分布如图8所示,方案II换热通道右侧的等温线呈由上至下呈条状分布,等温线与其在型腔面上的投影之间的距离沿竖直方向的波动比方案I要缓和,说明型

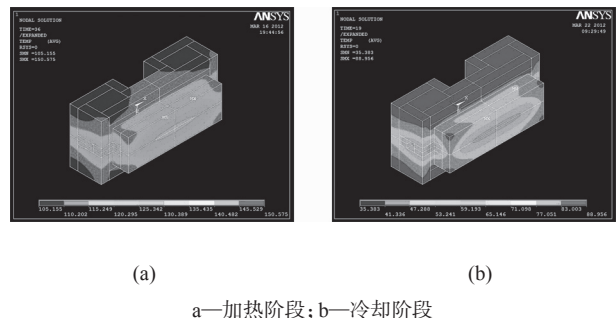


图8 方案II加热和冷却阶段温度场分布

腔面上各点温度变化更趋于同速。绝热层使向模具基体方向的传热量非常小,可以忽略。

方案I, II的工艺性能对比见表3。据表3可以计算出,方案II在加热和冷却阶段所用时间分别比方案I缩短125.0%和136.8%;方案II的加

热速率和冷却速率分别比方案 I 提高 124.2% 和 135.8%; 方案 II 的加热和冷却阶段最大温差分别比方案 I 降低 9.0% 和 24.2%。

表 3 工艺性能对比表

项目	方案 I	方案 II
30 ~ 110℃加热时间 /s	81	36
115 ~ 85℃冷却时间 /s	45	19
加热冷却阶段总时间 /s	126	55
30 ~ 110℃加热速率 / (℃ · s ⁻¹)	0.99	2.22
115 ~ 85℃冷却速率 / (℃ · s ⁻¹)	0.67	1.58
加热阶段最大温差 /℃	22.45	20.59
冷却阶段最大温差 /℃	25.56	20.58

4 结论

(1) 通过对方案 I 的分析,发现缩短换热通道与型腔面的距离是提高 HRHCM 工艺换热效率的有效途径,但是模芯的制造工艺决定了这个距离不能无限减小。

(2) 提出了随形绝热水道结构,其显著提高型腔表面温度均匀性和换热速率,通过数值模拟分析可知,在加热和冷却阶段所用时间分别缩短 125.0% 和 136.8%; 加热速率和冷却速率分别提高 124.2% 和 135.8%; 加热和冷却阶段最大温差分别降低 9.0% 和 24.2%,对降低 HRHCM 注塑生产能量消耗和提高其生产效率具有现实意义。

参考文献

- [1] Kim B, Yao D G.Method for rapid mold heating and cooling:US, 6846445[P].2005-01-25.
- [2] 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].Jappl Polym Sci,2006, 101:1 174-1 180.
- [3] Yao D G, Kim B.Development of rapid heating and cooling systems for injection molding applications[J].Polym Eng Sci,2002, 42(12):2 471-2 481.
- [4] Wang Guilong, Zhao Guoqun, Li Huiping, et al.Research of thermal response simulation and mold structure optimization for rapid heat cycle molding processes[J].Materials and Design,2009, 31:382-395.
- [5] Wang Guilong, Zhao Guoqun, Li Huiping, et al.Research on optimization design of the heating / cooling channels for rapid heat cycle molding based on response surface methodology and constrained particle swarm optimization[J].Expert Systems with Applications,2011, 38:6 705-6 719.
- [6] 宋满仓,连城林.高光注射成型中变模温技术的应用与研究[J].模具制造,2011, 11(6):39-44.
- Song Mancang, Lian Chenglin.Application and research for variotherm technology of high-gloss injection molding[J].Mold manufacturing,2011, 11(6):39-44.
- [7] 许国良,王晓墨,邬田华,等.工程传热学[M].北京:中国电力出版社,2005:77-82.
- Xu Guoliang, Wang Xiaomo, Wu Tianhua, et al.Engineering heat transfer[M].Beijing:China Electric Power Press,2005:77-82.
- [8] 张国智,胡仁喜,陈继刚,等.ANSYS 10.0 热力学有限元分析实例指导教程[M].北京:机械工业出版社,2007:160-167.
- Zhang Guozhi, Hu Renxi, Chen Jigang, et al.The ANSYS 10.0 thermodynamic finite element analysis example tutorials[M]. Beijing:Machinery Industry Press,2007:160-167.

宝理塑料开发非卤素阻燃 PBT

“DURANEX®” NF 系列

“DURANEX®” NF 系列是宝理塑料株式会社开发的一种具有良好电气特性的 PBT 材料,可用于接线板、接线盒等高压类外围设备,并且有助于减少沿面放电路径和因长年劣化而引起的失火。该系列不仅达到了 UL94 V-0 阻燃等级,而且显示出极好的抗电弧径迹性——其比较电弧径迹指数 (CTI) 为 500 ~ 600 V,性能等级类别 (PLC) 为 0 ~ 1 级,因此可轻松应对今后电气产品小型化设计和日趋严格的国际电工委员会 (IEC) 规格等。本系列也不含溴系阻燃剂或锑阻燃剂。

“DURANEX®” NF 系列的开发理念是提供不含溴系阻燃剂的 PBT 阻燃树脂,以善待环境并提高防火安全性能。就含有目前主流溴系阻燃剂的阻燃 PBT 而言,其 CTI 大大低于非阻燃 PBT。例如,在非强化类材料中,非阻燃 PBT 的 CTI 约为 600 V,而标准阻燃等级 PBT 的 CTI 则为 250 V,属于 PLC 2 级的下限。这一特性将难以应对未来部件设计的小型化和 IEC 规格的日趋严格。

“DURANEX®” NF 系列不含溴系阻燃剂,因此非常环保,并有助于大幅提高环保安全性能。(栗津涛、钟小燕)

Hickory Springs 推出生物基网状泡沫

全球家具及寝具部件供应商 Hickory Springs 推出一款牌号为 Preserve HiFlo 的网状开孔泡沫。

公司寝具解决方案业务单元副总裁 Todd Councilman 表示:“Preserve HiFlo 泡沫的生产过程不需要任何的后处理。我们是 83 英寸宽网状泡沫的唯一供应商,该款产品尤其适用于寝具以及户外家具,其开孔的特点有利于排出水分快速干燥,同时,还能满足特定客户对硬度和密度的各种要求。”

(PUWORLD)

北京化工大学研制新一代精密注塑机

北京化工大学针对当前注塑机关键部件——合模部件消耗资源大 (占整机的 60% 以上),曲柄连杆结构复杂、可靠性差、制造成本高等问题,通过集成创新,日前研发出调模直压内循环二板式全液压合模部件。

直压内循环二板式注塑机系列技术可使注塑机企业节省材料和加工成本,生产更高精度的塑料制品。(中化报)