

文章编号: 1001-4934(2006)01-0008-04

注塑模冷却系统设计中的 CAE

陈志新

(东华理工学院 电子与机械工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 介绍了注塑模冷却系统模拟分析的原理, 并简述了常见注塑模 CAE 软件的功能, 然后利用 CAE 软件, 通过一具体实例, 描述了注塑模冷却系统优化设计的 CAE 方法和过程, 并模拟验证了在平板状零件的模具设计过程中翘曲是一个必须重点考虑的因素。

关键词: 注塑模; 冷却系统; CAE

中图分类号: TG241

文献标识码: A

Abstract: The principle of simulating analysis of injection mold is introduced. The function of common CAE software of injection mold is described. The with CAE software, through an instance, the CAE method and process of optimizing design of cooling system of injection mold is narrated. It's proved by imulation that warp is a necessary considered factor in the design process of the mold of plate-shaped parts.

Key words: injection mold; cooling system; CAE

0 引言

现今社会中, 塑料越来越多地成为金属的替代品, 按照体积计算其消耗量已超过了钢、铁总和, 成为工业物料的重要支柱。模具是塑料成型加工的重要装备, 采用模具成型塑料制品, 实质上是一种少切削、无切削、多工序重合的生产方法。

在塑料成型周期中, 相当多的时间用于模具冷却。影响注射冷却系统的因素是多方面的, 除了塑料制品的几何形状、冷却介质及其流速和温度、冷却管道的布置、模具材料、熔体温度、塑件顶出温度和模具温度外, 还涉及到塑料和模具之间非稳态热循环交互作用。冷却系统的设计, 直接影响着模具冷却效率和型腔表面温度, 从而对注塑生产的效率和质量产生重要影响。一个高效和均匀的冷却系统设计能够显著地减少冷却时

间, 提高成型效率, 并对消除塑件翘曲变形、内部应力及表面质量缺陷产生影响。

在过去, 注塑模冷却系统的设计主要采用传统方法, 冷却管道的布置和冷却参数的确定往往在设计到最后阶段凭设计者的经验和直觉进行, 结果导致许多模具成型效率较低, 塑件的质量也难以保证。随着有限元和边界元法等数值方法在工程中的应用, 国外学者提出了注塑模冷却系统的数值分析模型, 并提出了模具温度场稳态分析的中面模型及数值处理方法。冷却系统模拟分析方法经多年的应用和完善, 现已广泛被应用于商品化软件中。

1 冷却过程模拟的基本原理

在冷却过程中模具内任一点的温度和热流受冷却系统中各几何参数和物理参数的影响, 需要

收稿日期: 2005-10-27

基金项目: 东华理工学院硕博基金资助项目 (DHS0503)

作者简介: 陈志新 (1973~), 男, 讲师。

用具有周期性边界条件的三维热扩散方程来求解, 而且完整的分析还应考虑熔体与模具型腔之间具有温度突变的相互热作用。这样的分析一般无法求出精确解, 即使求近似解也很困难。对一般的工程实际问题, 只能采用数值方法借助于计算机求出近似解。迄今为止, 求近似解的数值方法主要有有限差分法 (FDM), 有限元法 (FEM), 边界元法 (BEM)。而且由于绝大多数塑料制件的厚度尺寸往往比长度和宽度尺寸小得多, 故可简化为二维热传导分析, 这也是目前普遍采用而且比较成熟的方法。

(1) 采用有限元法 (FEM)

根据热传导理论, 对二维非稳态导热问题的求解, 归纳为抛物线型偏微分方程:

$$\rho \cdot C_p \frac{\partial T}{\partial t} = K \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + q_v$$

$$T(x_0, y_0, t)_{t=0} = T_0$$

$$-K \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_r = \alpha (T - T_f) \Big|_r$$

式中: T_0 ——物质的初始温度, K

T ——物体的瞬态温度, K

T_f ——周围介质的温度 (常数), K

q_v ——材料的内热源强度, $J/(m^2 \cdot K \cdot s)$

α ——换热系数 (物体表面的散热系数)

n ——物体任意边界处的外法线方向向量

G ——物体的边界, 方向为逆时针

K ——材料的热导率, $W/(m \cdot K)$

r ——材料的密度, kg/cm^3

C_p ——材料的比定压热容, $J/(kg \cdot K)$

通过对上述方程等价泛函变分的温度场进行离散, 可以求得有限元半离散化方程。再经过一系列的推导最终得到:

$$([K] + \frac{1}{\Delta t} [M]) \{T\}_t = \frac{1}{\Delta t} [M] \{T\}_{t-\Delta t} + \{F\}_{t-\Delta t}$$

式中 $\{F\}_{t-\Delta t}$ 为已知的初始温度场, 因此求出 t 时刻的温度场 $\{T\}_t$, 再把 $t+\Delta t$ 代替式中的 t , 就可解出 $t+\Delta t$ 时刻的温度场, 如此类推, 就可求出时间间隔为 Δt 的各个时刻的温度场。

(2) 边界元法 (BEM)

由于模具型腔表面和边界条件都很复杂, 冷

却过程是瞬态的导热过程, 应用中要做如下的简化:

① 稳态代替瞬态。忽略周期性温度波动, 以一个循环中某点的平均值代替该点的温度, 假定注塑成型操作是在标准稳定状态下进行的, 不考虑初始阶段温度变化;

② 型腔内热流仅沿型腔表面方向传播, 原因在于注塑件是薄壁的制品;

③ 假定模具材料是各向同性。

简化后的数学模型:

$$K \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = q^0(x, y) \quad \forall x, y \in S$$

相对应的边界条件:

$$T(x, y) = \bar{T}(x, y) \quad \forall x, y \in \Gamma_1$$

$$\frac{\partial T(x, y)}{\partial n} = \frac{\partial \bar{T}(x, y)}{\partial n} \quad \forall x, y \in \Gamma_2$$

$$-K \frac{\partial T(x, y)}{\partial n} = \alpha [T(x, y) - T_0(x, y)] \quad \forall x, y \in \Gamma_3$$

式中 G_1, G_2, G_3 分别对应不同的边界条件。如其中模具与空气、工作台面及注塑机喷嘴接触的表面作为第一类边界条件, 属于 G_1 , 将温度视为恒定, 且等于大气温度 $\bar{T}$ 。边界条件 G_2 用于具有对称结构的模具, 在其对称面上热流量为零, 即温度的法向梯度 $\frac{\partial T}{\partial n} = 0$, 视为第二类边界条件, 因对称面仅分析模具的一半, 模具的对称面便成其为模具边界的一部分。第三类边界条件对应着型腔边界和冷却管道边界。

2 软件简介

目前国际上具有代表性的商品化软件有: 美国原 Ac Tech 公司 (被 Moldflow 公司并购) 推出的注塑模 CAE 软件 C-MOLD; 澳大利亚 Moldflow 公司的注塑模 CAE 软件 MF; 德国 IKV 研究所的 CAD/CAE 软件 CADMOULD; 国内有华中科技大学的注塑模 HSCAE; 郑州大学的 Z-mold 等。

CAE 软件是在模具加工之前, 在计算机上对整个注塑成型过程进行模拟分析, 包括填充、保压、冷却、翘曲、纤维取向、结构应力、收

及气辅成形和热固性材料流动分析,找出可能出现的缺陷,提高一次试模的成功率,使生产厂家实现高质量、低成本、短周期的目标。如Moldflow软件,其包括的主要模块是:

- (1) MF/Flow 流动分析模块
- (2) MF/Cool 冷却分析模块
- (3) MF/Warp 翘曲分析模块
- (4) MF/Stress 结构应力分析模块
- (5) MF/Shrink 模腔尺寸分析模块
- (6) MF/Optim 注塑机参数优化模块
- (7) MF/Gas 气体辅助注塑模块
- (8) MF/Fiber 塑料纤维取向分析模块
- (9) MF/Tsets 热固性塑料的流动和融合分析模块

主要用到的是流动分析模块、冷却分析模块、翘曲分析模块,其作用是:

MF/Flow 流动分析模块用来分析聚合物在模具中的流动,并且优化模腔的布局、材料的选择、填充和保压的工艺参数。可以在产品允许的强度范围内和合理的充模情况下减少模腔的壁厚,让熔接线和气泡处于结构和外观允许的位置上,并且定义一个范围较宽的工艺条件。

MF/Cool 冷却分析模块用来分析冷却系统对流动过程的影响,优化冷却管路的布局和工作条件。MF/Cool 和 MF/Flow 相结合,可以得到十分完美的动态的注塑过程分析。这样可以改善冷却管路的设计,从而产生均匀的冷却,并由此缩短成形后的内应力。

MF/Warp 翘曲分析模块用来分析整个塑件的翘曲变形(包括线性、线性弯曲和非线性),同时指出产生翘曲的主要原因以及相应的补救措施。

3 设计分析实例

下面用 Moldflow 的冷却分析功能对一实例进行冷却管道的最优化设计。

一般先用 Pro/E, UG 等造型功能强大的软件绘三维图,输出为 STL 格式,然后再在 CAE 软

件中打开进行分析。

此零件为一圆形盖(图1),外圆要与其它零

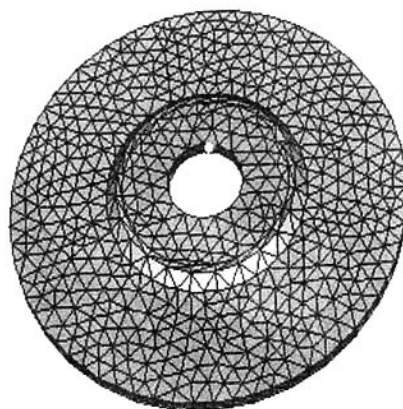


图1 零件图

件有很好配合,表面质量要求较高,零件主要尺寸为:外圆直径 58mm,内圆直径 10mm,壁厚 3.2mm,凸台外径 28mm,高度 3.2mm。浇口选在内圆侧壁,以保证外表质量。此零件厚度较薄,且没有加强筋,在高温注射条件下,很容易产生零件形状的变形。为了能缩短冷却时间,提高生产效率,希望在模具上开冷却管道,同时希望通过冷却介质与零件的热交换,使零件各处注射时的温度比较均匀,尽量减少其变形量及其它缺陷。现冷却管道设计方案有两种,如图2、图3所示。冷却管道1是动定模上各由二条直管道联连而成,冷却管道2是动定模上各由三条直管道联接而成。其它设计和注射条件均相同:冷却管道直径 8mm,距零件表面 12mm,塑件材料为聚丙烯(PP),模具材料为 45# 钢,冷却介质为水,其入口温度为 20℃,流速为 5m/s,料温 235℃等。先作一般的分析:由于浇口开在内圆侧壁,冷却管道1入口比冷却管道2入口更接近浇口,这对温度最高的浇口位置冷却效果好,且冷却管道1长度较短,使冷却介质在模内升温较低;由于冷却管道2长度较长,使热交换面积增大,还可看出冷却管道2在零件上的分布较均匀。上述可见,冷却管道1和冷却管道2在对模具降温方面、使零件各处注射时的温度比较均匀方面,各自有其有利的因素。根据上述分析难以选择冷却系统,且选择冷却系统时还有许多其它因素必须考虑。用CAE软件进行分析,便能得

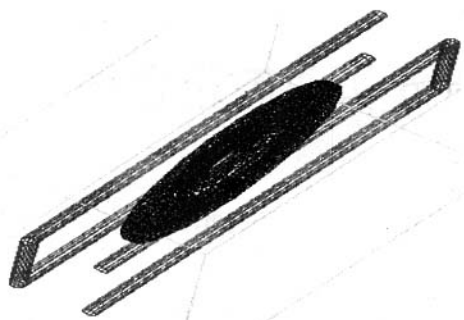


图2 冷却管道 1

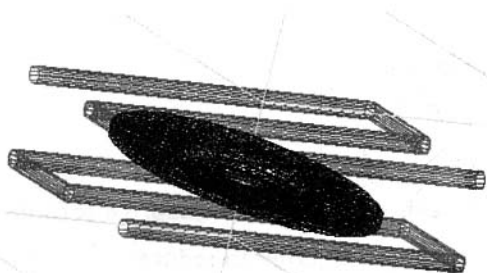


图3 冷却管道 2

到一个已经量化的、非常准确的结果,然后再进行综合考虑,就能够得到一个整体效果非常优化的方案。由于零件小,模具可设计成多型腔,但为避免图形复杂,便简化设计。

主要分析过程如下:

用CAE软件先将两种冷却系统在生产率、最大注射压力、充模效果、冷却效果、气泡与熔接缝等缺陷的多少和分布、应力的大小和分布等方面产生的效果一一分析出,由于其它条件不变,冷却系统的不同对这些方面影响不大(文章篇幅有限,结果不予列出),在这种情况下,继续考虑在其它方面的影响。

翘曲是塑料平板件注射过程中需要非常注意的问题,零件的形状、注射压力的大小、注射时零件温度的高低及其分布情况等因素对翘曲都影响很大。利用CAE软件对塑件在上述两种冷却管道条件下进行翘曲分析(其它条件不变),结果如图4、图5所示:

从上面分析结果可看出:冷却管道2的翘曲变形量相对冷却管道1有较大减小,最大值由0.599mm降为0.4013mm。由于两种冷却系统的

设计不同,造成零件各处的温度、压力不同,冷却管道2整体上使各处温度、压力更趋均匀,从而使翘曲变形小,综合考虑可选择冷却管道2。

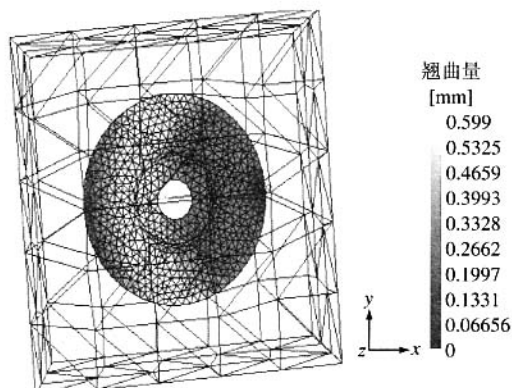


图4 翘曲分布图(冷却管道 1)

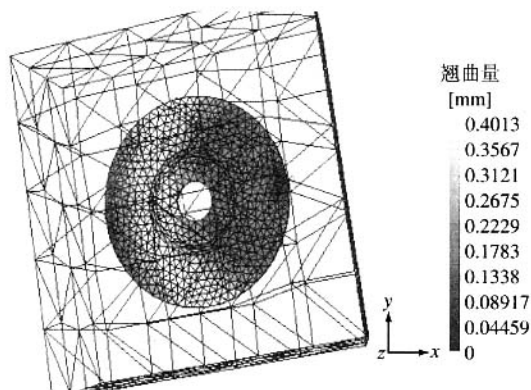


图5 翘曲分布图(冷却管道 2)

4 结束语

对于冷却系统的最优设计,需要确定冷却介质流通回路的布排、模具材料的选择、冷却介质的用量、入口温度、流速及其流道的尺寸等。对于形状复杂的零件,流道的布排方式就有许多种,加上与其它因素的组合,需要考虑的方式就很多了。若完全依靠经验设计,并在试模过程中再修改,将花费大量的人力、物力和时间,而且很可能造成模具的报废。

CAE技术的应用将计算机的快速性、准确性及信息高度集成性和工程技术人员的创造思维、综合分析能力充分结合,从而大大缩短产品的设计、制造周期,提高产品的质量,增加企业的竞

(下转第 21 页)

拉深，再外面是供卷边的凸缘。在拉深过程中，反向拉深可以起拉深筋的作用。但它在正向拉深的后期才进行，前期不起作用，若两者要同步进行，则二个方向拉深的高度要一致，而反向拉深的高度过高，会过大地增大毛坯的径向拉应力导致坯料过大的变薄或破裂，同时较高的锥形拉深也增加了起皱的危险。另一方面切边必须在反向拉深开始时进行，若拉深的高度较高，会重新造成凸缘周边不匀，不利于卷边工序的进行，这个高度以不超过 10mm 为宜。因此，本复合模不适宜较深的球形和较高的锥形的同时拉深。

浅球形拉深，而且 $D > 9\sqrt{RT}$ ，固然起皱还是主要矛盾，但其拉深深度很浅，材料变形程度不大，防皱相对于半球形拉深会容易很多。这时可附加一定宽度的凸缘，并用适当的压边力或用带拉深筋的模具，就可以达到防皱的目的^[2]。本零件的反向低锥形拉深和外圈的凸缘，为防止起皱提供了一定的条件，复合模的压边圈可以调整到足够大的压力作用在凸缘上，起到防皱的效果。另一方面，反向低锥形拉深的高度比正向拉深低很多，起皱危险很小，但易产生回弹^[2]。不过它在正向拉深的后期才开始，两者同时结束，在这段时间它可以起拉深筋的作用，使材料径向拉应力增大，切向压应力减小，既能防止起皱，又能提高拉深件的刚度，减少回弹^[3]。因此，本复合模可以实现浅球形和较低锥形的同时拉深。

由上述分析可见，对于特殊形状的零件拉深，必须认真判断其拉深类型，以便确定正确的模具设计方案。

3.2 注意压边圈预压力的调整

在模具装配中，上下压边圈的预压力一般不能一次性调好，必须在试模中进行调整，才能得到较理想的结果，它们分别通过调整螺钉 27 和大螺母 17 进行调整。

4 结束语

该模具经生产证实其性能稳定可靠，运行状况良好，零件满足设计要求。只要操作得当，产品合格率达 100%，与多工序分别操作相比，不仅提高了产品质量，而且提高了生产效率，降低了安全风险，从而大大降低生产成本，取得相当可观的经济效益。

参考文献:

- [1] 丁松聚.冷冲模设计[M].北京:机械工业出版社, 2004.
- [2] 华玉培,李恒权.冷冲压及模具设计[M].济南:山东科学技术出版社,1999.
- [3] 钱书琨,隆文革.拉伸筋在盒形件拉伸成形中的应用[J].模具工业,2005,(5):30~32.

(上接第 11 页)

争能力，从根本上提高企业人员的技术素质，促使企业生产技术管理全面革新，最大程度地满足用户的需求，最有成效地提高自己的经济效益。

参考文献:

- [1] 《塑料模设计手册》编写组. 塑料模设计手册[M]. 北

京:机械工业出版社,1994.

- [2] 申长雨等. 橡塑模具优化设计技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999.
- [3] 刘昌祺. 塑料模具设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [4] 申长雨等. 塑料模具计算机辅助工程[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1998.