

CAE 技术在薄壳注塑件翘曲变形分析中的应用

康俊远 严 丽

李永鸿

(广东轻工职业技术学院, 广州 510300) (佛山塑料集团股份有限公司经纬分公司, 佛山 528000)

摘要 用有限元方法研究了温度场、压力场对注塑件残余应力及翘曲变形的影响。以空调器风门叶片为例, 给出翘曲变形的 CAE 分析步骤, 提出收缩不均、冷却不均及分子取向不一致是翘曲变形产生的原因, 并给出相应的改进措施, 改进措施应用于工厂后取得较好的效果。

关键词 有限元 温度场 应力场 残余应力 CAE 分析 翘曲变形 注塑件

薄壳注塑件成型加工的质量缺陷主要表现为注塑件的翘曲变形、表面缩痕、流痕等, 对于这些问题, 注塑工艺参数是否设置合理起着决定性的作用。南海华达模具厂用聚苯乙烯 (PS) 制造的空调器风门叶片由于翘曲变形严重, 工程技术人员凭经验反复修改成型工艺参数和试模修模, 仍不能将变形量控制在 1 mm 以内。笔者应用 MPI 4.0 软件对空调器风门叶片成型时 PS 熔体在模腔中的温度场、压力场进行数值模拟, 分析了空调器风门叶片翘曲变形的原因并提出改进措施, 经在工厂实施后取得了较好的效果。

1 模型导入与翘曲计算

1.1 模型导入及有限元网格划分

将用 Pro/Engineer 构建的空调器风门叶片三维模型以 IGES 格式输入到 MPI 4.0 软件中, 通过 MPI 4.0 的 Mesh 功能对模型进行网格划分。在对网格进行修补时要特别注意将方位比 (Aspect Ratio) 修至小于 6, 以保证分析计算精度^[1]。图 1 是进行网格划分后的空调器风门叶片注塑件熔接模型, 分析屏幕输出的网格单元共 6583 个。



图 1 网格划分后的空调器风门叶片注塑件熔接模型

1.2 建立注射成型理论模型

(1) 二维流动模拟有限元方法

因空调器风门叶片注塑件的厚度与长度相比可忽略不计, 所以可用二维流动来分析熔体的压力场和温度场。采用 Hieber 等人的充模流动模拟二维有限元和有限差分的混合方法, 设注塑件长度方向为 x 轴、宽度方向为 y 轴、厚度方向为 z 轴, 在 $x-y$ 平面内用有限元方法离散, 而在厚度方向采用有限差分法求解。

压力场的控制方程为:

$$-\frac{1}{x} \left(S \cdot \frac{P}{x} \right) - \frac{1}{y} \left(S \cdot \frac{P}{y} \right) = 0 \quad (1)$$

$$S = \Lambda^{\frac{1-n}{n}} (T) \quad (2)$$

式中: S ——塑料的熔体流动速率与剪切速率的比值;

P ——压力;

Λ ——压力梯度的模;

n ——与材料特性有关的常数;

T ——绝对温度。

压力场采用简单三角形单元 ($x-y$ 平面内) 和二次函数来离散。设每个单元有 6 个节点, 单元节点号码 N 表示为:

$$N = \text{NELNOD}(l, m) \quad 1 \leq m \leq 6 \quad (3)$$

式中: ——单元节点号码;

l ——单元号码;

m ——单元内部节点号码。

对于任一单元 l , 其长度 L 方向的温度分布可表示为:

$$T^{(l)}(x, y, z, t) = \sum_{k=1}^3 L_k^{(l)}(x, y) T_k^{(l)}(z, t) \quad (4)$$

式中: $T^{(l)}(x, y, z, t)$ ——任一单元 l 的温度分布;

t ——时间;

$L_k^{(l)}(x, y)$ ——在 L 方向的单元号码函数 ($k = 1, 2, 3$);

$T_k^{(l)}(z, t)$ ——在 z 方向任一单元 l 的温度分布。

流动模拟可归结为把组合压力和温度的有关边界条件联立求解方程组的过程^[2]。

(2) 二维流动模拟翘曲计算

对于注射成型翘曲分析, 一般用考虑收缩率因

素的残余应变理论计算单元的理论模型,见式(5)、式(6):

$$S^{\parallel} = \alpha_v M_v + \alpha_c M_c + \alpha_s M_s^{\parallel} + \alpha_r M_r + \alpha_s \quad (5)$$

$$S^{\perp} = \alpha_v M_v + \alpha_c M_c + \alpha_s M_s^{\perp} + \alpha_r M_r + \alpha_0 \quad (6)$$

式中:“ $\parallel$ ”、“ $\perp$ ”——与流动方向平行、垂直的线性收缩率;

- M_v ——体积收缩率;
- M_c ——结晶度;
- $M_s^{\parallel}$ 、 $M_s^{\perp}$ ——与流动方向平行、垂直的分子定向度;
- M_r ——模具对翘曲变形约束的量值;
- α_v 、 $\dots$ 、 α_0 ——与材料收缩性能有关的实验常数。

在上述参数中, M_v 、 $M_s^{\parallel}$ 、 $M_s^{\perp}$ 、 M_c 、 M_r 是分别通过流动分析得到的。上述理论模型考虑了模具温差引起的弯曲弹性模量变化,所以在对注塑件作翘曲变形分析之前,必须先对注塑件作流动分析和温度场分析^[3],然后利用上述理论模型进行翘曲计算。

2 翘曲变形分析

2.1 翘曲变形分析模型的准备

选择 Cool-Flow-Warp 分析流程,空调器风门叶片翘曲变形的 CAE 分析步骤如图 2 所示。由图 2 可知,翘曲变形的 CAE 分析依赖于流动、冷却等其它注射成型 CAE 模块。

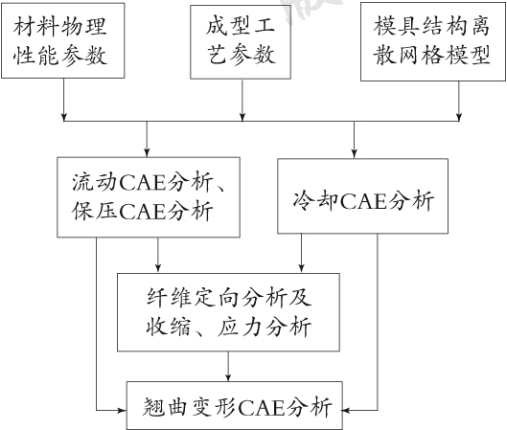


图2 空调器风门叶片注塑件翘曲变形 CAE 分析步骤

2.2 翘曲变形模拟结果分析

因空调器风门叶片注塑件的直线度影响空调器外观质量和使用性能,因此要保证空调器风门叶片注塑件的最大翘曲变形量不得超过 1 mm。采用单浇口注射,用 MPI 4.0 的 Cool-Flow-Warp 进行翘曲变形分析,结果见表 1。由表 1 可知,注塑件沿 z 轴方向的变形量为 1.362 3 mm,大于翘曲变形允许值。

表 1 空调器风门叶片注塑件沿 z 轴方向的翘曲变形分析结果

节点	产生原因			
	收缩不均	冷却不均	分子取向不一致	综合影响
N2466	-0.845 2	0.223 7	-0.056 3	-0.816 3
N3151	-0.869 5	0.311 6	-0.043 6	-0.568 5
N3034	-1.472 4	0.189 5	-0.022 5	-1.362 3

空调器风门叶片注塑件沿 z 轴方向的翘曲变形量如图 3 所示。

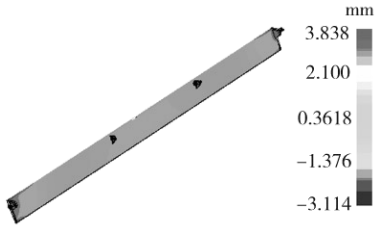


图 3 空调器风门叶片注塑件沿 z 轴方向的翘曲变形量

在一定的压力范围内,压力对残余应力有影响,但没有温度的影响大。在适当的压力范围内,注塑件的曲率因压力的增加而有所降低;模壁温差的影响大于压力的影响,不均匀的模壁温度是注塑件厚度方向翘曲变形的的主要原因^[4]。

3 翘曲变形的控制措施

(1) 首先将原单浇口注射改为双浇口注射,可快速充填,其次确定合理的注塑工艺参数,在允许的范围内,适当提高注射温度并增加注射时间。由于增强纤维可减小注塑件的热收缩,所以可采用添加纤维的方法抑制收缩。

(2) 合理设计冷却流道,确保冷却液在冷却流道中保持紊流状态,注塑件在其长度上的温差要小于 3℃。改变浇口位置及形状、提高熔体温度、设置合适的喷嘴温度可减小翘曲^[5]。在脱模后将注塑件置于冷却水中速冷也可减小翘曲。

通过以上工艺措施的改进,重新进行翘曲分析,模拟结果如表 2 所示。由表 2 可知,空调器风门叶片注塑件的翘曲变形量在 1 mm 以内,满足了使用要求。空调器风门叶片注塑件沿 z 轴方向的翘曲变形量如图 4 所示。改进措施在工厂实施后,与模拟结果基本相同。

表 2 空调器风门叶片注塑件沿 z 轴方向的翘曲变形分析结果

节点	产生原因			
	收缩不均	冷却不均	分子取向不一致	综合影响
N2853	-0.889 6	0.198 9	-0.018 3	-0.848 2
N3157	-0.695 8	0.176 6	-0.026 1	-0.675 6
N3185	-0.723 9	0.267 1	-0.035 9	-0.810 1

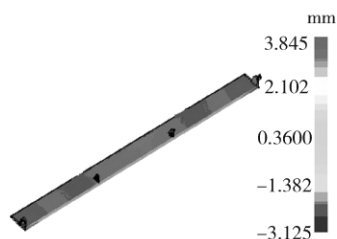


图 4 空调器风门叶片注塑件沿 z 轴方向的翘曲变形量

4 结论

利用 CAE 数值模拟技术, 通过建立模拟的数学模型及数值求解方法进行冷却、流动分析, 结合注塑件材料的物理性能对其进行翘曲集成分析, 找出了空调器风门叶片注塑件产生翘曲变形的原因, 为快速优化工艺参数、改进模具结构提供了依据。以上

工艺改进措施应用于生产后, 满足了空调器厂对风门叶片的质量要求, 为工厂赢得了经济效益。

参考文献

- 1 夏薇, 庞祖高, 周林. 精密工业配件的注射成型模拟. 模具工业, 2005(3): 36
- 2 董金虎, 董斌斌, 张响, 等. 薄壳塑件翘曲变形分析与工艺参数优化. 模具工业, 2004(9): 30
- 3 Lewis R W, Morgan K, Thomas H R, et al. The Finite Element Method in Heat Transfer Analysis. England: John Wiley & Sons Ltd, 1996. 23
- 4 李海梅, 顾元宪, 申长雨. 注塑件的翘曲变形分析与成型尺寸预测. 中国机械工程, 2002(10): 820
- 5 申长雨, 翟明, 陈静波, 等. 塑料注射成型保压过程数值模拟. 高分子材料科学与工程, 2000, 16(1): 8

APPLICATION OF CAE TECHNIQUE IN ANALYSIS OF WARPAGE DEFORMATION OF THIN-WALL PLASTIC PARTS

Kang Junyuan, Yan Li

Li Yonghong

(Guangdong Industry Technical College, Guangzhou 510300, China) (Jingwei Branch, Foshan Plastics Group Co. Ltd., Foshan 528000, China)

ABSTRACT The effects of temperature field and pressure field on residual stress and deformation of injection molded parts are studied by finite element method. The step to analyze warpage deformation by CAE is given with air condition damper vane as example. The reasons such as unbalanced shrinkage, unbalanced cooling and conflicting molecular orientation which cause warpage deformation are put forward and the improving measures are given. The practice proves that high quality of plastic parts can be obtained by using these measures.

KEYWORDS finite element method, temperature field, pressure field, residual stress, CAE analysis, warpage deformation, plastic part

请订阅《2005 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集》

优惠销售 2000 ~2005 年中国工程塑料加工应用技术研讨会《论文集》及论文集光盘

《2005 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集》出版了, 共收录论文 100 篇, 尤其突出了复合材料及其在汽车上的应用, 欢迎订阅。中国工程塑料工业协会加工应用专委会配合 2000 ~2005 年先后召开的中国工程塑料加工应用技术研讨会编辑、出版了 6 本《论文集》。现尚有部分《论文集》以及应广大读者要求加工制作的论文集光盘, 以优惠价(含邮费)销售。

1. 《论文集》, 优惠价为 200 元/套, 单册价格如下:

《2005 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集》论文 100 篇, 正文 338 页, 50 元/册;

《2004 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 337 页, 45 元/册;

《2003 年塑料助剂和塑料加工应用技术研讨会论文集》, 论文 105 篇, 正文 373 页, 40 元/册;

《2002 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 351 页, 30 元/册;

《2001 年中国工程塑料加工及模具技术研讨会论文

集》, 论文 80 篇, 正文 270 页, 25 元/册;

《2000 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 339 页, 20 元/册。

2. 论文集光盘版, 优惠价为 150 元/盘。

本光盘除收录上述 6 本《论文集》的全部内容外, 还包括约 1300 人次的会议代表通讯录。

凡需购买《论文集》或论文集光盘的读者, 请尽快办理邮购手续。汇款时请注明“论文集”或“论文集光盘”。

邮局汇款:

收款单位: 山东济南市 108 信箱杂志社

邮编: 250031

电话: (0531) 85878223 85878057 85878278

传真: (0531) 85947355 85878224

银行汇款:

户 名: 中国兵器工业集团第五三研究所

开户银行: 济南市工商银行八一分理处

帐 号: 1602001209014424079