

风扇扇叶翘曲变形分析及优化设计

任双宁 张益华

(南京航空航天大学机电学院, 南京 210016)

摘要 运用 MPI 软件分析了风扇扇叶翘曲变形的特点和原因, 并通过对模具结构、制件结构和工艺参数的优化, 成功减小了扇叶的翘曲变形, 为同类产品的开发提供了理论指导。

关键词 翘曲变形 注射成型 优化设计 扇叶

翘曲变形是指注塑件的形状偏离了模具型腔的形状, 是注塑件常见的一种缺陷^[1]。随着对注塑件质量要求的不断提高, 翘曲变形越来越多地受到人们的关注, 已成为衡量制件质量的一项重要指标。笔者应用模流分析软件 Moldflow/MPI (以下简称 MPI) 对某家用风扇扇叶的注射成型进行了模拟仿真, 根据模拟结果, 分析了扇叶翘曲变形的特点及产生原因, 并通过对模具结构、制件结构和注射成型工艺参数的优化, 减少了扇叶的翘曲变形, 满足了生产要求, 节约了开发成本和时间。

1 翘曲变形影响因素分析

注塑过程中, 翘曲变形是由于制件收缩不均匀而产生的^[2]。收缩不均匀主要表现为: ①制件不同部位的收缩不一致; ②沿制件厚度方向的收缩不一致; ③平行和垂直于分子取向方向的收缩不一致。

翘曲变形涉及的范围较广, 影响因素较多。注射成型过程中的各因素几乎都会影响到制件的翘曲, 如制件材料、制件结构、模具结构、注射成型工艺条件等。翘曲变形的优化措施可相应的归纳为: ①更改制件材料; ②修改制件的几何形状; ③优化模具结构, 包括浇注系统、冷却系统和顶出机构的优化等; ④调整注射成型的工艺参数等。

2 初始方案及结果分析

2.1 制件分析

图 1 所示某家用风扇扇叶, 6 片叶片在结构上呈辐射状分布, 轮毂内部有多处肋板结构。制件整体轮廓直径为 235 mm, 高为 43 mm, 轮毂厚度为 3 mm, 叶片厚度为 2.5 mm。所用材料为 Generic 聚丙烯 (PP), 牌号 CM10902, 半透明状, 该材料是结晶型塑料, 流动性好, 易成型, 力学性能优良。制件要求表面光滑, 不得有飞边等缺陷。

2.2 初始方案及结果分析

初始方案是设计人员根据以往经验设计的, 采用三板模具, 共有 3 个点浇口, 均匀分布在以制件中

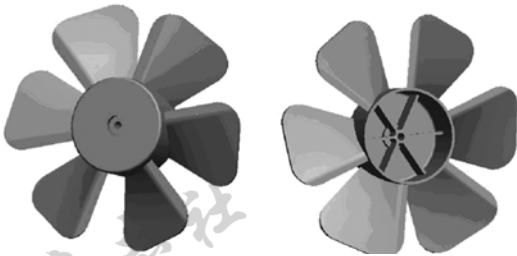
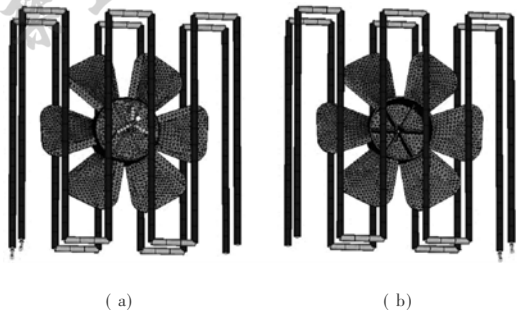


图 1 制件三维模型

心为圆心直径为 50 mm 的圆上, 其 CAE 模型如图 2 所示, 初始工艺参数设置如表 1 所示。



a—凹模侧; b—凸模侧

图 2 初始制件浇注系统及冷却系统 CAE 模型

表 1 初始工艺参数

工艺参数	模具温度 /℃	熔体温度 /℃	注射时间 /s	保压压力 /MPa	保压时间 /s
数值	230	40	1.5	35	8

利用模流分析软件 MPI, 根据初始方案的工艺参数, 对制件进行 Cool + Flow + Warp 分析, 翘曲变形结果如图 3 所示。从图 3 可以看出, 扇叶的翘曲变形主要发生在叶片末端, 最大翘曲变形量达到了 1.575 mm, 由于变形过大, 不仅降低了风扇的冷却效果, 而且还会导致风扇工作噪声大, 甚至运转不稳定, 因此, 需要对初始方案进行优化, 以满足实际生产要求。

在 MPI 中, 制件产生翘曲变形的原因有 3 点:

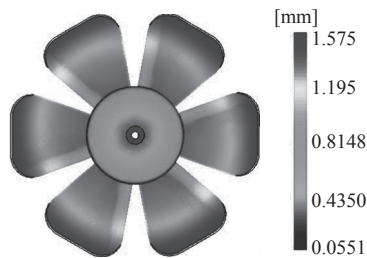


图3 初始方案翘曲变形

冷却不均匀、收缩不均匀、分子取向不均匀^[3]。表2所示为各因素引起的翘曲变形量。由表2可以看出,在初始方案中,由收缩不均匀引起的制件翘曲变形量最大,由冷却不均匀引起的翘曲变形量较小,由分子取向不均匀引起的翘曲变形量最小,可以忽略不计。因此,该制件产生翘曲变形的主要原因是收缩不均匀和冷却不均匀,其中最主要的原因是收缩不均匀。

表2 各因素引起的翘曲变形量 mm

总翘曲变形量	冷却不均匀引起的翘曲变形量	收缩不均匀引起的翘曲变形量	取向不均匀引起的翘曲变形量
1.575	0.137	1.571	1.455×10^{-8}

3 优化方案及结果分析

对于收缩不均匀引起的翘曲变形,可以通过优化制件结构、调整浇口位置及保压设置来优化压力分布等方法进行改善;对于冷却不均匀引起的翘曲变形,应尽量使用高效且均匀的冷却系统,以使翘曲变形量降到最小。

3.1 模具结构优化

在模具结构方面,影响制件翘曲变形的主要因素有浇注系统、冷却系统与顶出系统等。不考虑顶出系统对翘曲的影响,只对浇注系统和冷却系统进行优化设计。

在模具设计中,浇口位置是一个关键的设计变量。制件的质量在很大程度上取决于浇口位置,一个不正确的浇口位置将会导致过压、高剪切率、熔接线性质差和翘曲等一系列缺陷^[4]。

经 MPI 计算,浇口离制件中心距离越近,制件的填充越均匀,翘曲变形量也越小,但距离过近时,又会影响中间安装孔的精度。综合各种因素,最终将3个浇口均匀设置在以制件中心为圆心,直径为30 mm的圆上。浇口优化后,制件的翘曲变形量由1.575 mm降至1.460 mm。

初始方案中制件表面温度分布不均匀,温差过大,这将导致制件收缩不均匀,内应力增加,最终造成制件脱模后产生开裂、翘曲变形等缺陷。冷却系

统中水路的尺寸及分布决定了制件表面的温度分布,因此,需要对初始方案中的冷却系统进行优化,加强冷却温度较高的轮毂区域。优化后的制件表面温度分布情况得到很大改善,温差由71.07℃降至32.19℃,制件的翘曲变形量也由1.460 mm降至1.170 mm。

优化后的浇注系统和冷却系统 CAE 模型如图4所示。

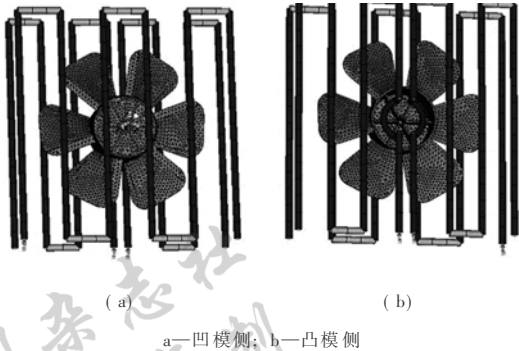


图4 优化后的制件浇注系统及冷却系统 CAE 模型

3.2 制件结构优化

制件的结构是决定其翘曲变形程度的关键因素。其中,壁厚均匀为制件设计的第一准则。制件的壁厚设计对其质量、可成型性和成本的影响非常大。若制件太薄,制件容易呈现脆性,而且成型性不好;太厚则不仅浪费材料、延长生产周期而且制件容易产生表面凹陷和内部缩孔。壁厚的大小取决于制件需要承受的外力、是否作为其它部件的支撑、承接柱位的数量、伸出部分的多少及选用的塑料材料等。为了节约成本,需使制件轻量化及缩短成型周期,壁厚的选择应该在满足制品功能要求及材料可加工性的基础上取小值^[5]。

一般情况下制件应设计成均匀壁厚,以便最大程度地减小注射过程中因冷却不均匀引起的制件内应力,减小因制件内应力引起的翘曲变形,减小气泡给制件带来的危害,减少制件表面缩痕产生的可能性等。但有时为了满足某些功能或工艺方面的需要而无法避免不均匀的壁厚时,可采取逐步过渡的形式来设计,并应力求壁厚变化均匀。

由于沿流动路径方向上存在压力降,而压力降必将引起体积收缩率的差异,考虑到制件的体积收缩量又取决于制件的壁厚,因此对扇叶叶片的壁厚进行了渐变的优化设计。图5所示为叶片壁厚优化方案。优化后叶片的壁厚由初始方案中均匀壁厚由初端2.5 mm渐变为末端2.0 mm。

优化后, 叶片的翘曲变形更加均匀, 制件的最大翘曲变形量由 1.170 mm 降至 0.987 8 mm。

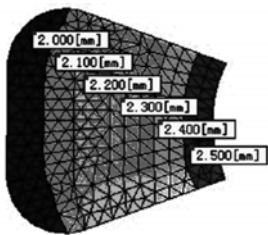


图 5 壁厚优化方案

3.3 工艺参数优化

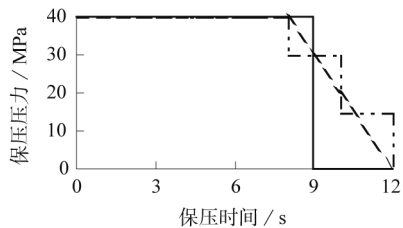
除模具结构和制件结构之外, 注射成型工艺参数对制件的翘曲变形也有很大程度的影响。尽管通过上述模具结构和制件结构优化后, 制件的翘曲变形有所改善, 但要想达到制件的质量要求, 还需进一步从注射成型工艺参数上进行优化。注射成型过程所涉及的主要工艺参数有模具温度、熔体温度、注射时间、保压压力、保压时间及冷却时间等。这些工艺参数对制件的翘曲变形均有不同程度的影响。因为该制件翘曲变形最主要的原因是收缩不均, 而保压的作用就是向型腔内补充塑料熔体以防止制件收缩过大。因此, 可以通过保压曲线的优化来减小制件的不均匀收缩, 从而减小制件的翘曲变形。

初始方案中保压方式为恒压保压, 即在充填结束时, 压力立即增加到保压压力数值, 在保压和冷却过程中, 压力保持不变, 保压结束后, 压力立即减小到 0。恒压保压情况下, 制件料流末端区域体积收缩最大, 浇口附近区域体积收缩最小, 最大收缩量与最小收缩量相差较大, 造成制件不均匀变形, 且浪费能源。为此, 将保压方式改为变压保压, 即在充填结束时, 压力立即增加到保压压力数值, 在保压时间内, 压力分为恒压和衰减两个阶段, 料流末端冷却到不流动温度时, 保压压力从恒压状态开始变为衰减状态, 制件浇口部位完全凝固时, 压力降为 0。这种变压保压情况下, 制件逐渐冷却到浇口凝固, 几乎是处于相同压力下, 因此制件体积收缩较均匀^[6]。如果注塑机不能进行变压保压设置, 可以采用阶跃保压的方式来代替。

根据 MPI 计算结果, V/P 转换的时间是 1.5 s, 浇口凝固的时间是 13.5 s, 而初始方案中设置的保压时间较短, 因此将其调整为 12 s, 优化前后的保压曲线如图 6 所示。

优化后制件的翘曲变形量如图 7 所示。由图 7 可知, 最大翘曲变形量由 0.987 8 mm 降至 0.896 4

mm。



——— 优化前; - - - - - 优化后; - · - · - 阶跃保压

图 6 优化前后的保压曲线

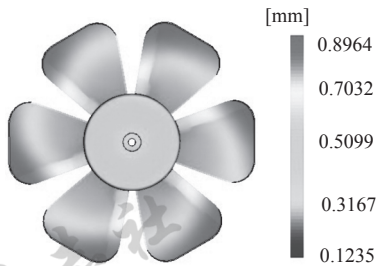


图 7 优化后的翘曲变形量

3.4 各优化方案结果及分析

取制件中均匀分布的 3 片叶片, 测量其翘曲变形情况, 每片叶片上取 8 个测量点, 共 24 个测量点, 测量点位置分布如图 8 所示。

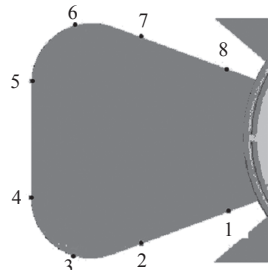
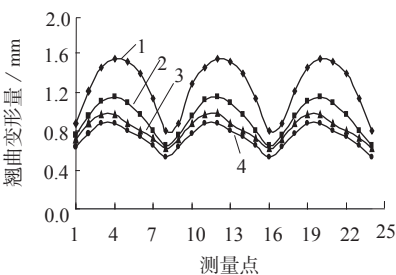


图 8 测量点分布图

为解决风扇扇叶的翘曲变形, 从模具结构、制件结构和工艺参数 3 方面进行优化后, 扇叶的翘曲变形得到很大改善, 完全满足实际生产要求。图 9 为各方案翘曲变形量数据统计。由图 9 可见, 模具结构优化和制件结构优化对翘曲变形的改善幅度较



1—初始方案; 2—模具结构优化; 3—制件结构优化; 4—工艺参数优化

图 9 各方案翘曲变形量数据统计

大,工艺参数优化对翘曲变形的改善幅度相对较小。

这说明模具结构和制件结构对制件翘曲变形的影响较大,合理的模具结构和制件结构是生产合格制件的必要前提;在模具结构和制件结构优化基础上,通过工艺参数的优化也能在一定程度上改善制件的质量。

4 结论

(1) 应用模流分析软件 MPI 能及时发现制件注射成型过程中的质量缺陷,快速调整成型方案,减少试模次数,提高生产效率。

(2) 针对制件翘曲变形的原因,对模具结构和制件壁厚进行了优化,减小了制件的翘曲变形量。

(3) 在模具结构和制件壁厚优化的基础上,优

化了保压曲线,由单段保压改为多段保压,在一定程度上进一步减小了制件的翘曲变形量。

参考文献

- [1] 高月华,王希诚.注塑制品的翘曲优化设计进展[J].中国塑料,2006,20(11):8-13.
- [2] 周应国,申长雨,陈静波,等.工艺参数对注塑制品翘曲影响的CAE分析[J].工程塑料应用,2006,34(11):28-31.
- [3] 单岩,王蓓,王刚. Moldflow 模具分析技术基础[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [4] 申长雨.塑料模具计算机辅助工程[M].郑州:河南科学技术出版社,2000.
- [5] 张伟国,李世国,郦洪源.注塑件缺陷分析及结构设计解决方案[J].工程塑料应用,2007,35(1):73-77.
- [6] 张君,董定福.注塑成型保压过程 CAE 技术的应用[J].塑料科技,2003,31(2):1-3.

ANALYSIS ON WARPAGE OF FAN BLADE AND OPTIMIZATION DESIGN

Ren Shuangning, Zhang Yihua

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

ABSTRACT By using MPI software, the characteristics and reasons of the warpage of fan blade were analyzed. Through optimizing the mold structure, part structure and process parameters, the warpage of fan blade was reduced successfully. The design could provide a theoretical guidance for the development of similar products.

KEYWORDS warpage, injection molding, optimization design, fan blade



余姚市汇合塑化有限公司

www.hh53.com

余姚市汇合塑化有限公司创立于二〇〇五年,公司下辖两个生产基地,一个检测公司,是开发碳纤维复合材料等前瞻性产品的专业改性公司。公司二〇〇七年通过环评认证,通过ISO9001:2000管理体系认证,是中国塑料加工工业协会改性委员会常务理事单位,是宁波地区唯一的科研实验开发生产基地,是中国工程塑料工业协会加工应用专业委员会委员单位。

产品简介

碳纤维复合材料系列

CFRPA6、CFRPA66、
CFRPC、CFRPP、
CFRABS、CFRPOM等

产品优点

密度小、高强度、高模量、耐腐蚀、耐高温、导电、耐磨、收缩率小、线膨胀系数低、耐磨性、尺寸稳定性好。

产品用途

可代替部分有色金属材料,广泛用于航空、航天、汽车、纺织、机械、电器、体育用品等行业。

无卤阻燃聚丙烯

注塑级、挤出级

产品优点

无卤阻燃,可达到UL94V-0级,不粘膜、不析出,灼热丝温度可达到960℃,热变形温度可达到142℃。

产品用途

可完全代替阻燃ABS,部分代替增强ABS和PBT,可制作小家电外壳,电视机后盖,电容器外壳,插座、空调、冰箱等配件。

工厂电话:0574-62501577

传真:0574-62532511

联系人:李志刚 18958321380

地址:浙江余姚中国塑料城A1-63号 邮编:315400

销售部电话:0574-62530511

传真:0574-62530511

联系人:赵明 13857497450