

薄壁塑件的翘曲数值分析及模具补偿

沈国保, 张驰, 赵玲杰, 白梅

(重庆理工大学 材料科学与工程学院, 重庆 400054)

摘要: **目的** 解决薄壁塑件在注塑成形过程中出现的翘曲问题。 **方法** 采用 moldflow 软件对产品注塑成形过程进行了数值模拟分析, 确定了补偿量, 运用补偿法对模具进行了修正, 补偿变形量。 **结果** 经过对模具的适当修正, 薄壁塑件的翘曲量由原先的 0.89 mm 减少到 0.29 mm, 装配精度得到了很大改善。 **结论** 运用补偿法对塑件进行模具设计, 使薄壁塑件的翘曲变形量大幅减少, 尺寸精度满足使用要求, 为生产实践提供了可靠依据。

关键词: 薄壁塑件; 翘曲; 数值模拟; 模具补偿

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2015.01.010

中图分类号: TQ320.66

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2015)01-0051-05

Numerical Simulation and Mold Compensation of Warpage for Thin-wall Plastic Parts

SHEN Guo-bao, ZHANG Chi, ZHAO Ling-jie, BAI Mei

(College of Material Science and Engineering, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China)

ABSTRACT: To solve the warpage of thin-wall plastic parts occurring in the injection molding process. Injection molding process was analyzed by numerical simulation using Moldflow software, from which the amount of compensation was determined. The mould was corrected by compensation method to compensate the deflection. After appropriate amendments to the mould, the warpage amount of the thin-wall plastic parts was decreased to 0.29 mm from the original amount of 0.89 mm, which greatly improved the assembly accuracy. The warpage amount of the thin-wall plastic parts was greatly decreased and the dimensional accuracy met the operating requirement when the compensation method was used in mould design for plastic parts, which provides a reliable basis for the production practice.

KEY WORDS: thin-wall plastic; warpage; numerical simulation; mould compensation

薄壁塑件注塑成形技术是在传统注塑成形基础上发展起来的一种新技术,但是由于塑件壁厚的变薄,聚合物熔体在型腔中冷却迅速,成形难度加大,给塑件的质量控制带来了很大的困难。在实际注塑成形过程中往往会出现各种各样的质量问题,例如短射、飞边、翘曲、熔接痕等,而翘曲变形是其注塑成形过程中的主要缺陷^[1-3]。

在薄壁塑件的注塑成形过程中引起翘曲变形的

因素是复杂的,根据现代塑料制品翘曲理论,影响翘曲的因素主要有材料、制品形状、模具结构和成形工艺条件等^[4-7]。由于影响薄壁注塑件翘曲变形的因素很多,采用传统的反复试模-修模的方法来解决翘曲问题,不仅耗时费力,而且效果很不理想。

补偿法是控制和补偿零件翘曲变形的常用方法之一,即在模具结构上根据零件的回弹趋势,修正模具工作部分的形状及尺寸,补偿零件翘曲量,使成形

收稿日期: 2014-11-02

基金项目: 国家科技部科技型中小企业创新基金支持项目(07C26225111923)

作者简介: 沈国保(1987—),男,山东菏泽人,硕士生,主要从事精密塑性成形及模具研究。

的零件卸载后的形状与期望值相符或相近^[8]。

文中以薄壁塑件风机底座为研究对象,将 CAE 分析与补偿法修正模具相结合,优化模具设计,以期得到所需的成形精度,提高生产效率及产品质量。

1 薄壁塑件结构特征及工艺性分析

风机底座为平均厚度为 1.8 mm 的薄壁塑件,材料为 PA66+30GF。其开口(如图 1 所示)A,B,C,D 处翘曲变形量要求不大于 0.6 mm (± 0.3 mm)。在生产过程中常常由于翘曲变形量较大,与端盖配合不紧密,直接影响着风机的质量。这里重点考虑塑件与左右端盖的配合;同时塑件要求外形及表面质量较高,无飞边及熔接痕等。

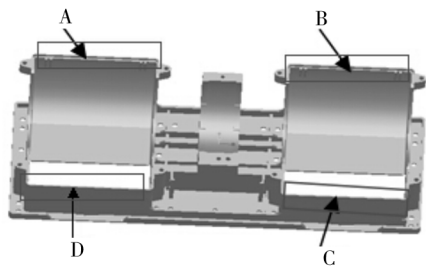


图 1 三维图模型
Fig. 1 3D model of the part

2 有限元模型的建立及成形过程

2.1 CAE 建模分析^[9-13]

在 UG 中进行三维建模,以 STL 格式导入 Mold-flow 进行网格划分(如图 2 所示);分析类型设置为冷却+流动+翘曲;材料选用 Ultramid B3WG6 GP(即 PA66+30GF);工艺参数:模具的初始温度设为 65 ℃,料温设为 265 ℃;其他采用默认值。

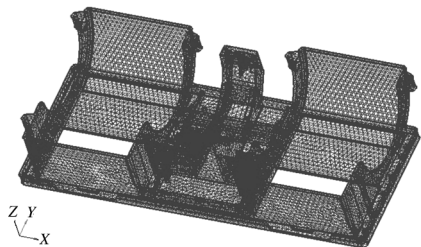


图 2 网格划分
Fig. 2 Generative structural analysis

在注塑成形过程中,不同的注塑参数对注塑件的质量产生不同的影响,考虑到材料 PA66+GF30 的

流动性及模具结构,现将浇口采用矩形侧浇口,分流道采用半圆形;冷却管道数为 4,直径设为 8 mm;CAE 模型如图 3 所示。

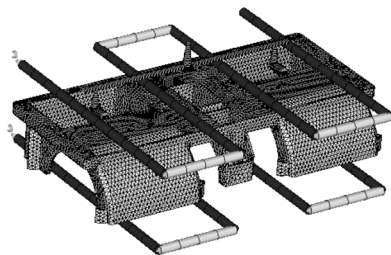


图 3 CAE 模型
Fig. 3 CAE simulation model

2.2 最优注射成形工艺参数的确定

在生产实践中得知最佳工艺参数为:注塑温度(熔体温度)为 280 ℃,模具温度为 70 ℃,充模时间为 4 s,保压时间为 18 s。在最优工艺参数条件下分析得到的翘曲变形量,如图 4 所示。

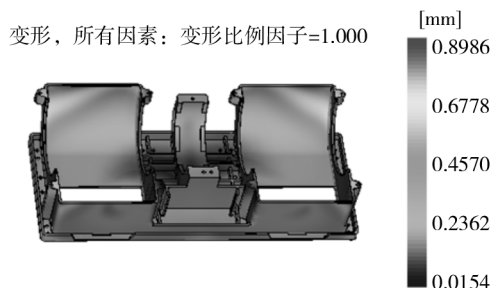


图 4 最优工艺参数条件下得到的翘曲变形量
Fig. 4 Warpage amount obtained under the condition of optimal process parameters

由图 4 可以看出,最优工艺参数下得到的总翘曲变形量的最大值为 0.8986 mm,超过规定的翘曲变形量范围,影响着风机的装配精度。

3 模具设计

3.1 反变形设计及最终补偿量的确定

根据塑件的翘曲变形情况对其进行反变形设计,尤其是塑件开口位置,其尺寸是最重要的配合尺寸。设置多组变形补偿量,对塑件三维模型进行多次修改并进行 CAE 分析,变形补偿量对翘曲变形量的影响结果如表 1 所示。可以看出,当 A,B 处(图 5a 所示)的变形补偿量为 0.6 mm,C,D 处(图 5a 所

示)的变形补偿量为 0.3 mm 时,风机底座与左右端盖的配合达到了要求。如图 5a 所示,深色线为塑件变形补偿线,图 5b 为运用 UG 软件采用反变形设计得到的塑件。

表 1 塑件的翘曲变形量

Table 1 Warpage amount of the plastic part

设置的变形补偿量/mm	开口处的翘曲变形量绝对值的最大值/mm			
	A	B	C	D
0.4	0.318	0.297	0.385	0.389
0.5	0.421	0.381	0.298	0.361
0.6	0.283	0.289	0.215	0.189
0.7	0.328	0.285	0.301	0.417
0.8	0.394	0.321	0.376	0.396
0.9	0.486	0.527	0.337	0.417

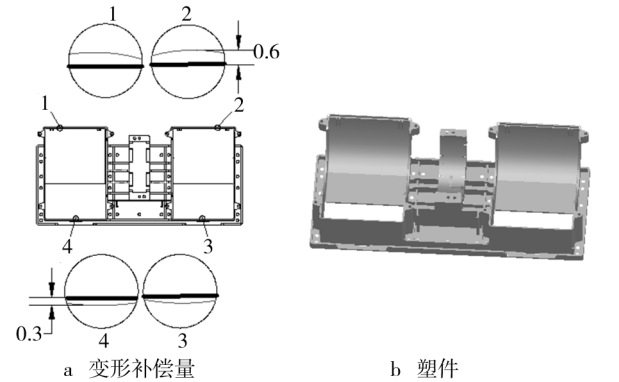


图 5 反变形设计的塑件

Fig. 5 Predeformation of the plastic part

按照修正的翘曲补偿量对其进行 CAE 翘曲变形分析。总的翘曲变形量分析结果,如图 6 所示。

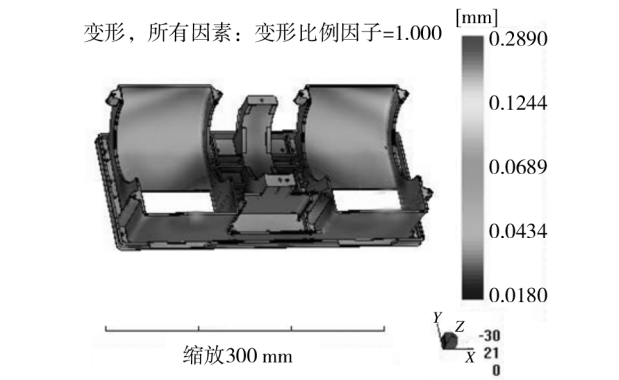


图 6 翘曲分析

Fig. 6 Warpage analysis

对设计后的塑件进行翘曲分析,结果显示,总的翘曲变形量小于 0.289 mm,风机的装配精度大大提高了。这说明采用补偿法对塑件进行设计取得的效

果是很明显的^[14-15]。在 Moldflow 中的“结果-查询结果”里面,在 A,B,C,D 处分别找 5 个点(如图 7 所示),测得各处的翘曲变形量,如表 2 所示。

表 2 开口处各点翘曲变形量绝对值的最大值

Table 2 The maximum absolute value of warpage amount at various points of the opening

开口处	1	2	3	4	5
A	0.037	0.196	0.283	0.113	0.015
B	0.008	0.135	0.289	0.189	0.021
C	0.018	0.176	0.215	0.108	0.021
D	0.023	0.096	0.189	0.092	0.012

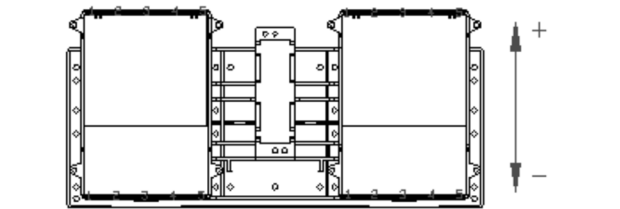


图 7 翘曲变形量的正负规定、测量点

Fig. 7 Positive and negative regulation and measurement points of warpage amount

根据技术要求规定的翘曲变形量不大于 0.6 mm(± 0.3 mm)和表 2 的数据,以 A,C 处的变形曲线为例可以看出,采用补偿法对模具进行设计,翘曲变形量在规定的范围之内。A 处和 C 处的变形曲线如图 8 所示。

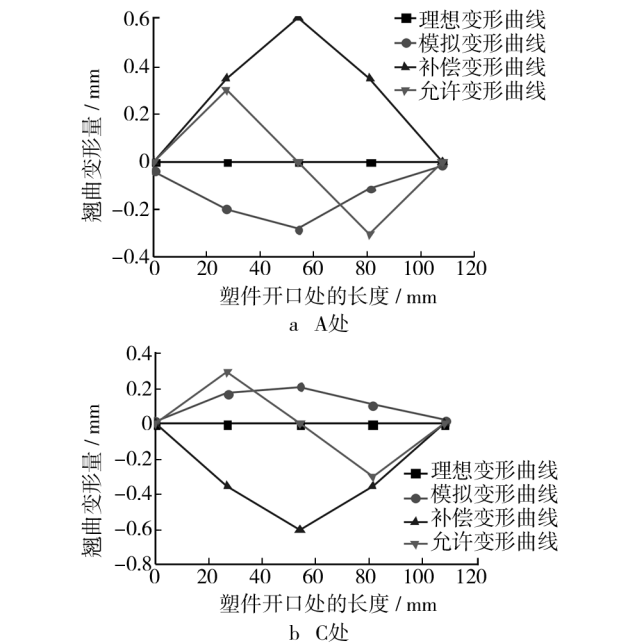


图 8 A 处和 C 处的变形曲线

Fig. 8 The deformation curve of A and C

3.2 修正后的型芯、型腔

根据得到的最优变形补偿量修正模具型芯、型腔,通过对塑件进行反变形设计,得到补偿后的型芯、型腔示意图,如图 9 所示。

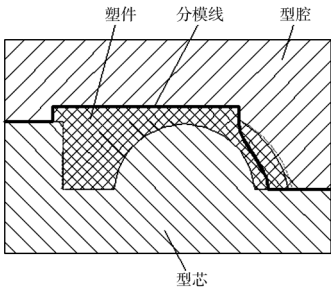


图 9 型芯、型腔补偿示意图

Fig.9 Schematic diagram of compensation of mold core and cavity

利用 UG6.0 进行分模,收缩率取 0.6%。最终确定 A,B 处的变形补偿量为 0.6 mm,C,D 处的变形补偿量为 0.3 mm 来设计塑件,并进行分模。

加工后的模具型腔型芯,如图 10 所示。

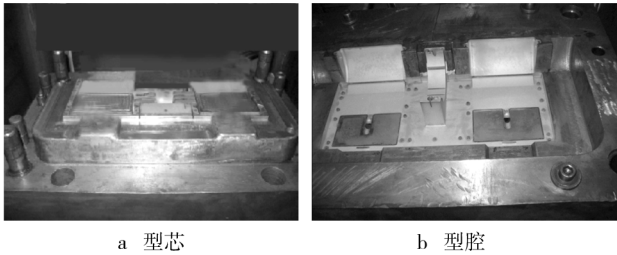


图 10 模具的型芯、型腔

Fig. 10 Mold core and cavity

4 产品试制及结果

将动定模安装在注塑机上,工艺参数设定好之后,开始进行产品的试制,见图 11。



图 11 试制产品

Fig. 11 Trial products

随机抽出 5 件制品,对风机底座开口处进行测

量,制品各处最大翘曲变形量,如表 3 所示。从表 3 可以看到,采用补偿法设计模具后,塑件的翘曲变形得到了实质性的改善,符合企业规定的标准,即翘曲量不大于 0.60 mm(± 0.3 mm)。

表 3 制品的翘曲变形量实测数据

Table 3 Measured data of warpage amount of the plastic parts

制品编号	A	B	C	D
1	0.173	0.248	0.187	0.208
2	0.214	0.195	0.164	0.183
3	0.185	0.276	0.241	0.176
4	0.257	0.167	0.198	0.194
5	0.191	0.159	0.154	0.192

5 结论

翘曲变形是薄壁塑件注塑成形过程中的主要缺陷,先通过有限元分析与补偿法修正模具相结合,并通过生产实践验证,总结如下。

1) 对塑件三维模型进行多次修改并进行 CAE 分析,对塑件严重翘曲的部位进行反变形设计,翘曲变形量由原来的 0.89 mm 减少到 0.29 mm,说明采用补偿法对塑件进行设计取得的效果是很明显的。

2) 用现有设备制定合理的实验方案并进行产品的注塑成形,从测量结果可以看出,塑件的翘曲变形量的值在企业规定的范围之内,从工程实际上改善了翘曲变形并提高了产品的质量。

3) 将 CAE 分析与补偿法修正模具相结合,大大提高了生产效率,缩短了生产周期。

参考文献:

[1] 郭志英,李德群. 注塑制品翘曲变形的研究[J]. 塑料科技,2001,141(1):22—25.
GUO Zhi-ying,LI De-qun. Research in Warped Deformation of Injected Part[J]. Plastics Science and Technology,2001,141(1):22—25.

[2] 董斌斌,申长雨,李倩. 注射成型薄壁制品收缩与翘曲因素[J]. 化工学报,2005,56(4):727—732.
DONG Bin-bin,SHEN Chang-yu,LI Qian. Affecting Factors of Shrinkage and Warpage of Thin-wall Injection Molding Process[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering,2005,56(4):727—732.

[3] 吴梦陵,伍太宾. 成形工艺参数对塑件翘曲影响研究[J]. 精密成形工程,2010,2(6):19—23.

- WU Meng-ling, WU Tai-bin. The Research of Molding Process Parameters on the Plastic Warpage's Influence [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2010, 2 (6): 19—23.
- [4] XU G J. Study of Thin-wall Injection Molding [D]. Ohio: The Ohio State University, 2004: 8—10.
- [5] LOSCH K. Thin Wall Molding: Demanding but Rewarding [J]. Modern Plastics, 1997, 74 (11): 79—82.
- [6] 宋满仓, 颜克辉, 赵丹阳. 薄壁塑件注塑成形特性的试验研究 [J]. 中国机械工程, 2006, 17 (8): 380—383.
- SONG Man-cang, YAN Ke-hui, ZHAO Dan-yang. Experimental Research on Injection Molding Characteristics for Thin Wall Plastic Parts [J]. China Mechanical Engineering, 2006, 17 (8): 380—383.
- [7] LIAO S J, CHANG D Y, CHEN H J, et al. Optimal Process Conditions of Shrinkage and Warpage of Thin-wall Parts [J]. Polymer Engineering and Science, 2004, 44 (5): 917—928.
- [8] 王久林, 李萍, 李纪龙, 等. 基于模具补偿法的机械式胀形桥壳回弹控制 [J]. 精密成形工程, 2014, 6 (4): 31—35.
- WANG Jiu-lin, LI Ping, LI Ji-long, et al. Springback Control of Mechanical Bulging Axle housing Based on Mold Compensation Method [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2014, 6 (4): 31—35.
- [9] 李海梅, 刘永志, 申长雨, 等. 注塑件翘曲变形的 CAE 研究 [J]. 中国塑料, 2003 (3): 53—58.
- LI Hai-mei, LIU Yong-zhi, SHEN Chang-yu, et al. Study on the Warpage of Injection Molded Parts by CAE [J]. China Plastics, 2003 (3): 53—58.
- [10] SHOEMAKER J. Moldflow Design Guide: A Resource for Plastics Engineers [M]. Carl Hanser GmbH Co, 2006: 35—27.
- [11] LIAO S J, CHANG D Y, CHEN H J, et al. Optimal Process Conditions of Shrinkage and Warpage of Thin-Wall Parts [J]. Engineering and Science, 2004, 44 (5): 819—832.
- [12] 李海梅, 申长雨, 陈静波, 等. 粘弹性本构关系在注塑模 CAE 中的应用 [J]. 郑州工业大学学报, 1999, 20 (2): 12—14.
- LI Hai-mei, SHEN Chang-yu, CHEN Jing-bo, et al. Applications of Viscoelastic Constitutions for CAE of Injection Molding [J]. Journal of Zhengzhou University of Technology, 1999, 20 (2): 12—14.
- [13] 夏源, 李聪. 某汽车零件注塑模设计及成形过程 CAE 分析 [J]. 精密成形工程, 2012, 4 (4): 31—35.
- XIA Yuan, LI Cong. Design of Injection Mould and Forming CAE Analysis for Automobile Part [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2012, 4 (4): 31—35.
- [14] 李海梅, 顾元宪. 注塑的翘曲变形分析与成型尺寸预测 [J]. 中国机械工程, 2002, 13 (10): 820—823.
- LI Hai-mei, GU Yuan-xian. Warpage Analysis and Numerical Prediction of Molding Dimensions for Injection Molded Parts [J]. China Mechanical Engineering, 2002, 13 (10): 820—823.
- [15] 杨雪春, 董懿琼, 彭伟, 等. U 型件回弹控制模具补偿法的研究 [J]. 锻压技术, 2009, 34 (1): 42—45.
- YANG Xue-chun, DONG Yi-qiong, PENG Wei, et al. Research on Die Compensation Method Based on Springback Control of U-shaped Part [J]. Forging & Stamping Technology, 2009, 34 (1): 42—45.
-
- (上接第 26 页)
- [13] 刘大博, 杨守杰, 王克鲁, 等. 2D70 铝合金热变形行为及加工图 [J]. 中国有色金属学报, 2013, 23 (8): 2077—2082.
- LIU Da-bo, YANG Shou-jie, WANG Ke-lu, et al. Hot Deformation Behavior and Processing Map of Aluminum Alloy 2D70 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2013, 23 (8): 2077—2082.
- [14] 郎利辉, 许爱军, 李涛, 等. 基于单向拉伸的防锈铝合金温热力学性能研究 [J]. 航空材料学报, 2011, 32 (1): 15—19.
- LANG Li-hui, XU Ai-jun, LI Tao, et al. Research on Warm and Hot Mechanical Property of Corrosion-resisting Aluminum Alloy Sheet Based on Uniaxial Tensile Test [J]. Journal of Aeronautical Materials, 2011, 32 (1): 15—19.
- [15] 张志, 郎利辉, 李涛, 等. 高强度铝合金 7B04-T6 板材温拉伸本构方程 [J]. 北京航空航天大学学报, 2009, 35 (5): 600—603.
- ZHANG Zhi, LANG Li-hui, LI Tao, et al. Constitutive Equations of High Strength Aluminum Alloy Sheet [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2009, 35 (5): 600—603.