

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.06.021

基于反变形和 CAE 的手机前壳翘曲优化

段家现¹, 闫西坡²

(1. 梧州学院 机械与材料工程学院, 广西 梧州 543002; 2. 洪硕模流工作室, 广东 深圳 518115)

摘要:为提高手机前壳的成型质量,减小翘曲变形,提出了基于反变形和 CAE 的优化方法。介绍了手机前壳的平面度误差要求和反变形设计原理,利用 CAE 软件 Moldflow 对手机前壳的注塑成型过程进行数值模拟,得到了翘曲变形的 Z 方向位移分量,从而获得变形补偿量;对原始设计模型进行反变形设计和模拟验证,预测的平面度误差符合质量要求。按反变形设计模型进行模具设计和制造,对生产样件进行平面度和外形尺寸检测,平面度误差为 0.180 0 mm,比平面度公差要求小 0.170 0 mm,外形尺寸误差均在公差范围之内。研究表明该方法可以通过变形补偿来提高塑件的尺寸精度。

关键词:手机前壳;翘曲;反变形;计算机辅助工程(CAE);Moldflow 软件

中图分类号:TQ320.66

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2016)06-0093-05

Warpage Optimization of Phone Front Shell Based on CAE and Reverse Deformation Method

DUAN Jiaxian¹, YAN Xipo²

(1. College of Mechanical & Material Engineering, Wuzhou University, Wuzhou, Guangxi 543002, China;

2. Hongshuo Moldflow Studio, Shenzhen, Guangdong 518115, China)

Abstract: In order to improve the molding quality of phone front shell and reduce warpage, a method of optimization based on reverse deformation and CAE technique was provided. The flatness of phone front shell and method of reverse deformation was introduced. The numerical simulation for the injection process of phone front shell was put forward by means of Moldflow, which is one of computer aided engineering software, and the Z-component displacement of warpage was presented. The deformation compensation amount was obtained, and the reverse deformation design of the original design model was executed. The simulation verification of reverse deformation model were carried out, and the flatness error of prediction was in accord with quality requirements. The injection mold was designed and manufactured according to reverse deformation model. The plastic parts of phone front shell were measured for flatness and outline dimension, and the flatness error was 0.180 0 mm, which was less than 0.170 0 mm comparing with flatness tolerance. The outline dimensions were within the tolerance range. The results show that it can improve the precision of plastic parts by means of deformation compensation.

Key words: phone front shell; warpage; reverse deformation; computer aided engineering(CAE); Moldflow software

近年来,笔记本电脑和手机等 3C (computer, communication and consumer electronics) 产品应用越来越广泛,它们向短小轻薄方向的发展,所以对薄壁平板塑件的成型质量和精度要求越来越高。其中注塑成型是最主要成型方法之一^[1]。

常见注塑件缺陷主要有翘曲变形、熔接痕、缩痕、短射、气穴和飞边等。翘曲变形是最常见和最难消除的缺陷,通常由塑料、塑件结构、模具结构及精度、成型工艺条件等多种因素造成。减小翘曲变形的主要措施有修改塑件的结构,改进模具(如浇注系统、冷却系统

收稿日期:2016-06-20;修回日期:2016-08-22

基金项目:广西高校中青年骨干教师基础能力提升项目(KY2016LX365);梧州学院校级科研项目(2015B006)。

作者简介:段家现(1980),男,河南新乡人,工学硕士,讲师,主要从事塑料成型工艺和模具 CAD/CAE 方面的研究。E-mail: gxudjx@163.com

和顶出机构等)结构、调整成型工艺参数等^[2-3]。生产实践中,塑件的几何形状和模具结构已经定型,多数是通过调整成型工艺参数来减小翘曲变形。许多学者就此开展了大量的研究,并取得了较好的效果^[4-12]。当一些薄壁平板塑件的翘曲变形要求较高时,往往不能满足塑件的精度要求,因此,在现有材料、成型设备和已优化的成型工艺等条件下,寻找一种改进塑件模型和模具型腔形状来补偿翘曲的方法是十分必要的。

王孝忠^[13]等引入权值反变形方法对模具型腔进行优化并仿真验证,提高了叶片的尺寸精度。李志广^[14]等将难变形处的结构、形状和尺寸等进行反变形补偿成型,改善了锻造工艺性,确保了锻件尺寸精度。卜昆^[15]等使用 ProCAST 软件对涡轮叶片进行铸造过程仿真,建立基于位移场的反变形模型,并进行模具优化,经仿真试验验证,取得了良好的效果。

本文利用 CAE 方法预测变形补偿量和反变形方法设计手机前壳,补偿翘曲变形,提高手机前壳边框的平面度精度。

1 手机前壳的平面度要求

平面度指零件平面要素的宏观凹凸高度相对理想平面的偏差,平面度误差指零件的实际表面和理论上的理想平面之间的差值^[16]。

手机前壳的平面度公差 T 要求为 0.350 0 mm,如果平面度误差较大,将影响显示屏和后盖的装配,达不到质量要求,平面度检测表面如图 1 所示。经分析,平面度误差的主要原因是 Z 方向(垂直于检测面方向)翘曲变形造成的。



图 1 手机前壳的平面度检测面

Figure 1 Flatness measuring surface of phone front shell

2 反变形方法和 CAE 分析

2.1 反变形方法的基本原理

反变形就是在原设计模型(即理论模型)上设计一定的反变形量形成具有反变形形状模型,再按照

反变形后的模型进行模具型腔设计,使得最终制件与原设计模型有更好的吻合度,达到减少尺寸超差的目的^[17]。因此,对手机前壳的原始设计模型进行 Z 方向反变形设计,补偿 Z 方向的翘曲变形,通过反向修正来保证塑件与原始设计模型一致。

翘曲变形在 X, Y, Z 方向上均有变形分量,其中, Z 方向是沿开模方向,即垂直于检测面方向。用 P 表示塑件的设计模型, S 表示塑件变形后的模型。原始设计模型的翘曲变形趋势和变形量如图 2 所示,原始设计模型表示为 $P_0(x_0, y_0, z_0)$, 翘曲变形后的模型表示为 $S_0(x_0, y_0, z_0)$, 则塑件翘曲变形量 $\Delta D_0(x_0, y_0, z_0)$ 可表示为

$$\Delta D_0(x_0, y_0, z_0) = S_0(x_0, y_0, z_0) - P_0(x_0, y_0, z_0) \quad (1)$$

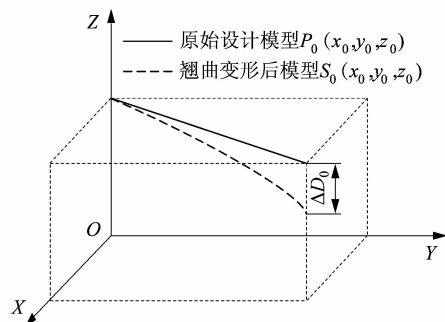


图 2 翘曲变形趋势和变形量

Figure 2 Trend and deflection of warpage

令反变形后的设计模型为 $P(x, y, z)$, 翘曲变形后为 $S(x, y, z)$, 反变形补偿量为 ΔP , 反变形设计模型的翘曲变形量为 $\Delta D(x, y, z)$, 反变形模型翘曲变形后与原始设计模型的差值为 $\Delta(x, y, z)$, 反变形的翘曲补偿示意如图 3 所示, 且有:

$$P(x, y, z) = -\Delta P + P_0(x_0, y_0, z_0), \quad (2)$$

$$\Delta(x, y, z) = \Delta P - \Delta D(x, y, z). \quad (3)$$

2.2 塑件的 CAE 模流分析

注塑 CAE (computer aided engineering) 是针对注塑塑料成型过程的动态仿真分析, 对过程的认识从宏观进入微观, 定性进入定量, 静态进入动态, 为优化模具设计和控制产品成型过程以获得理想的最终产品提供科学依据和设计分析手段^[18]。

Moldflow 是应用最广, 最具代表性的注塑成型 CAE 软件。运用 Moldflow 进行模流分析, 预测塑件的翘曲变形量, 为反变形设计提供依据。假设塑料熔体温度是均匀的比假设模具温度是均匀的能够做出更准确的翘曲预测, 分析序列为冷却 + 填充 + 保压 + 翘曲^[19]。

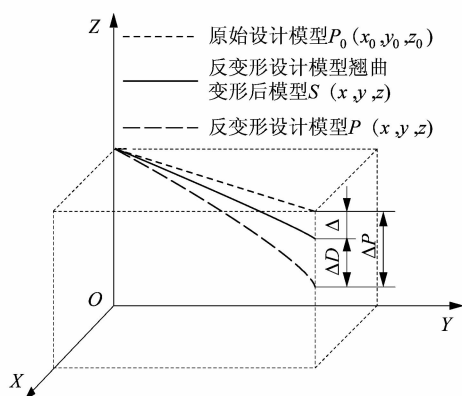
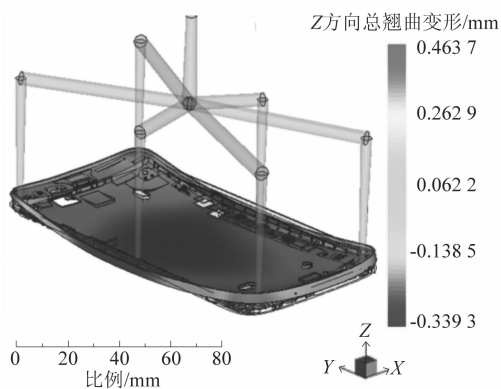


图3 反变形的翘曲补偿示意图

Figure 3 Warpage compensation schematic diagram of reverse deformation

对原始设计模型进行翘曲分析, Z 方向翘曲变形预测结果如图4所示, Z 方向翘曲主要发生在4个边角区域和两个长边中间区域。两个长边的 Z 正方向翘曲最大值为0.463 7 mm, Z 负方向翘曲最大值为0.339 3 mm,总翘曲为0.803 0 mm。两个短边的 Z 正方向翘曲最大值为0.463 7 mm,最小值为0.062 2 mm,总翘曲为0.401 5 mm。取两位小数点后,长边的最大变形量为0.80 mm,短边的最大变形量为0.40 mm。预测手机前壳边框的平面度误差为0.800 0 mm,超出了公差($T=0.350$ 0 mm)0.450 0 mm。由于平面度超差较大,采用反变形法减小翘曲变形,反变形补偿量参考长边和短边的翘曲变形量。

图4 原始设计模型的 Z 方向翘曲分量预测Figure 4 Z -component prediction of original design model

3 塑件反变形设计与 CAE 分析

3.1 塑件的反变形设计模型

手机前壳具有长度和宽度远远大于厚度的特点,

将 X,Y 方向变形分量定义为收缩, Z 方向变形分量定义为翘曲。假定翘曲变形为线性的,选取 Z 方向的最大变形量作为参考点来表征翘曲变形趋势。

考虑到长边和短边均有较大的翘曲变形,为了防止出现倒扣现象,反变形补偿量略小于 Moldflow 的预测值,长边反变形 0.750 0 mm,短边反变形 0.300 0 mm。利用 PTC Creo 软件的“扭曲”特征设计反变形塑件模型,如图5所示。

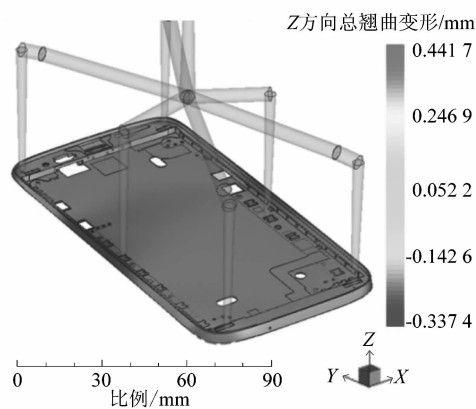


图5 手机前壳的反变形设计模型

Figure 5 Reverse deformation design model of phone front shell

3.2 反变形设计模型的 CAE 分析

划分网格、建立浇注系统、定义材料和成型工艺参数与原始设计模型 CAE 分析时一致,翘曲分析结果如图6所示。

图6 反变形设计模型的 Z 方向翘曲分量预测Figure 6 Z -component prediction deflection of reverse deformation design model

反变形设计模型的翘曲趋势与原始设计模型相同,翘曲变形量相差不大。两个长边的 Z 正方向翘曲最大值为0.441 7 mm, Z 负方向翘曲最大值为0.337 4 mm,总翘曲变形量0.779 1 mm。两个短边的 Z 正方向翘曲最大值为0.441 7 mm,最小值为0.021 6 mm,总翘曲变形量为0.420 1 mm。其变形示意图如图7所示。

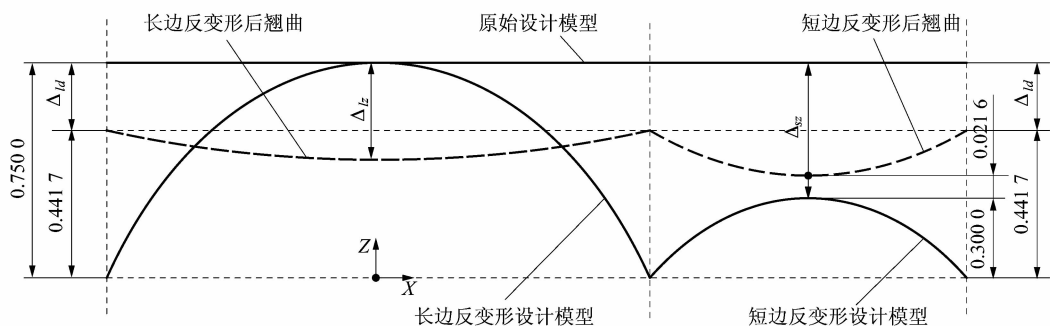


图7 反变形后的翘曲变形示意图

Figure 7 Schematic diagram of warping after reverse deformation

长边(短边)两端、长边中间、短边中间与原始设计模型的差值分别表示为 Δ_{ld} , Δ_{lz} , Δ_{sz} 。按照公式(3)计算反变形设计模型翘曲变形后与原始设计模型的差值 $\Delta(x,y,z)$,则

$$\Delta_{ld} = 0.7500 - 0.4417 = 0.3083 \text{ mm},$$

$$\Delta_{lz} = 0 - (-0.3374) = 0.3374 \text{ mm},$$

$$\Delta_{sz} = (0.7500 - 0.3000) - 0.0216 = 0.4284 \text{ mm}。$$

显然 $\Delta_{sz} > \Delta_{lz}$,由图7可知,当选择通过长边和短边端点的平面作为参考平面时,反变形后的手机前壳边框的平面度误差

$$\Delta T = \Delta_{sz} - \Delta_{ld} = 0.4284 - 0.3083 = 0.1201 < T = 0.3500 \text{ mm}。$$

所以,手机前壳边框的平面度误差 ΔT 在公差允许范围之内,且短边的误差大于长边的误差。结果表明,反变形设计可以显著提高平面度精度。

4 工程实验验证

注塑模具为一模一腔,冷流道,点浇口,单层型腔冷却水路,模具型腔按手机前壳的反变形设计模型进行设计和制造,塑料材料为PC1414。

试模样品中随机抽查了5个样品,检测塑件的平面度和外形尺寸。平面度检测通过在被测平面选取212个点进行Z方向坐标对比,如图8所示。Z坐标

最大值和最小值分别为3.6800,3.5000 mm,平面度误差为0.1800 mm,小于平面度公差0.3500 mm,手机前壳边框的平面度精度符合质量要求。

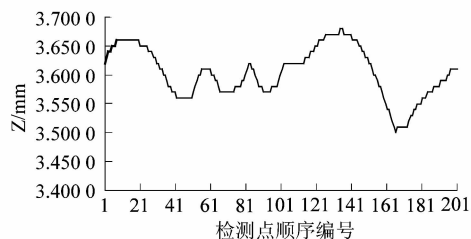


图8 检测点的Z方向坐标变化趋势

Figure 8 Z-coordinate change trend of measuring points

由于生产中的其他因素影响,边框的实际平面度误差为0.1800 mm,比计算所得的0.1201 mm略大,相差较小,故可以使用公式(3)计算出来的误差值作为反变形设计效果的评判依据,判定反变形是否可行,提高反变形的准确性。

外形尺寸检测结果如表1所示,其中外长、外宽、内长、内宽-上、内宽-中的尺寸均在公差范围之内,内宽-下的尺寸偏向下偏差。由此可见小幅度的反变形设计对外形装配尺寸基本没有影响。

表1 手机前壳的外形尺寸

Table 1 Outline dimensions of phone front shell

mm

尺寸名称	基本尺寸D	上偏差 E_s	下偏差 E_l	样件1	样件2	样件3	样件4	样件5
外长	140.000 0	0.100 0	-0.100 0	140.058 0	140.064 0	140.038 0	140.061 0	140.032 0
外宽	73.000 0	0.100 0	-0.100 0	73.098 0	73.095 0	73.048 0	73.093 0	73.097 0
内长	137.550 0	0.100 0	-0.100 0	137.595 0	137.609 0	137.606 0	137.649 0	137.599 0
内宽-上	70.620 0	0.100 0	-0.100 0	70.638 0	70.631 0	70.594 0	70.639 0	70.628 0
内宽-中	70.620 0	0.100 0	-0.100 0	70.635 0	70.692 0	70.616 0	70.612 0	70.621 0
内宽-下	70.620 0	0.100 0	-0.100 0	70.511 0	70.525 0	70.483 0	70.522 0	70.511 0

5 结语

1) 手机前壳的反变形设计能够较好地补偿变形量,有效地减小翘曲,显著提高了塑件 Z 方向的平面度精度。经生产实践,平面度误差为 0.180 0 mm,符合质量要求。

2) 注塑 CAE 技术可以较好地预测翘曲变形趋势和变形量,即可以为补偿量提供参考,也可以预测实施反变形后的效果。

3) 开模之前,利用反变形方法和 CAE 技术做反变形设计,可以得到合理的反变形设计模型,做到一次试模成功,减少了产品的整形工序和降低了模具修改成本。

参考文献:

- [1] 宋满仓,颜克辉.薄壁注塑成型数值模拟技术的发展现状[J].塑料科技,2006,34(1):51-54.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 李吉泉,李德群,郭志英.基于特征翘曲度优化的注塑模浇口位置设计[J].中国机械工程,2008,19(2):242-244.
- [5] 肖良红,胡建强.基于翘曲变形的薄壁塑件成型工艺优化[J].中国塑料,2014,28(3):106-111.
- [6] 张继祥,秦海涛,高波,等.基于正交实验的薄壁塑件翘曲变形模拟分析[J].塑料工业,2013,41(9):64-67.
- [7] 康俊远,严丽,李永鸿.CAE技术在薄壳注塑件翘曲变形分析中的应用[J].工程塑料应用,2006,34(1):32-34.
- [8] 于盛睿,冯浩,罗贤海,等.基于CAE软件的液晶电视前面框翘曲变形诊断分析[J].塑料科技,2010,38(4):81-83.
- [9] BARGHASH M A, ALKAABNEH F A. Shrinkage and warpage detailed analysis and optimization for the injection molding process using multistage experimental design[J]. Quality engineering, 2014, 26(3):319-334.
- [10] TANG S H, TAN Y J, SAPUAN S M, et al. The use of Taguchi method in the design of plastic injection mould for reducing warpage [J]. Journal of materials processing technology, 2007, 182(3):418-426.
- [11] OKTEM H, ERZURUMLU T, UZMAN I. Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part [J]. Materials and design, 2007, 28(4):1271-1278.
- [12] 薛玮珠.基于CAE分析的汽车饰件顺序注射模具成型研究[J].机电工程,2015,32(5):622-625.
- [13] 王孝忠,汪文虎,冯炜,等.基于权值的压气机树脂叶片模具型腔反变形优化[J].特种铸造及有色合金,2012,32(8):717-719.
- [14] 李志广,安海林,杨文影.连接法兰反变形模锻法[J].模具工业,2012,38(1):63-65.
- [15] 卜昆,赵杰,土继锋,等.基于位移场的涡轮叶片模具设计中的反变形技术研究[J].中国制造业信息化,2006,35(5):28-31.
- [16] 王伯平.互换性与测量技术基础[M].4版.北京:机械工业出版社,2013:68-75.
- [17] 韩伟,于望生,孔胜国,等.大型涡轮叶片精密铸造尺寸精度控制研究:反变形技术[J].铸造,2009,58(11):1108-1111.
- [18] 王利霞,余晓容,申长雨,等.CAE技术在注塑成型中的应用[J].化工进展,2004,23(3):260-266.
- [19] 陈艳霞,陈如香,吴盛金.Moldflow 2012 完全自学与速查手册[M].北京:电子工业出版社,2012:281-286.

(上接第92页)

调节调距手轮,实现两端同步调距的功能,避免辊筒过重导致受力不均出现卡死的现象。采用链条传动解决了以往直接传动容易产生骨料卡死损坏设备的问题;破碎机采用立式结构,将电机减速器位置下移至机架下部增加了整个设备的稳定性,设备占地面积小,运行更加平稳。新型破骨机解决了常规破碎机通用性差、操作繁琐以及对占地和辅助设备要求高的问题,降低了投资成本,提高了生产效率,对于骨源食品原料前处理具有重要的应用价值。

参考文献:

- [1] 杨巍,成晓瑜,陈文华,等.畜禽骨深加工技术与应用现状[J].肉类研究,2009(11):75-79.
- [2] 毛成果,周靖阳,李阳.对辊式破碎机设计研究[J].煤矿机械,2012,33(8):24-26.
- [3] 张雪峰,潘永泰.基于ANSYS Workbench的双齿辊破碎机模态分析[J].煤矿机械,2013,34(2):105-107.
- [4] 赵啦啦,臧峰,王忠宾,等.差动分级齿辊式破碎机的设计及运动仿真[J].煤矿机械,2007,28(6):19-20.
- [5] 庞爱国,任洪忱,刘洪义.禽骨类肉质采集生产线及其关键设备的研究[J].农业科技与装备,2012(6):31-32.
- [6] BLANCHARD M J, RAY C T. Meat processing apparatus and method:US8662967[P]. 2014-03-04.
- [7] THIPPRAKMAS S. Improving wear resistance of sprocket parts using a fine-blanking process[J]. Wear, 2011, 271(9/10):2396-2401.
- [8] WALHA L, FAKHFAKH T, HADDAR M. Backlash effect on dynamic analysis of a two-stage spur gear system[J]. Journal of failure analysis and prevention, 2006, 6(3):60-68.
- [9] HAY J S, CARNATION J, WIEDER B, et al. Bone crusher and method for bone crushing:US10961573[P]. 2004-10-08.
- [10] 黄冬明.挤压类破碎机工作机理和工作性能优化研究[D].上海:上海交通大学,2007:11-13.
- [11] 马会永.基于离散元方法的双齿辊破碎机的仿真[J].机电产品开发与创新,2015,28(1):103-104.