

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.11.014

仪表壳注射成型工艺 CAE 分析

王飞¹, 顾楠¹, 魏大忠², 曹正凯¹, 扈翔³

(1. 北京邮电大学自动化学院, 北京 100876; 2. 北京控制工程研究所, 北京 100190; 3. 公安海警学院电子技术系, 浙江宁波 315801)

摘要: 针对聚碳酸酯 (PC)/ 丙烯腈 - 丁二烯 - 苯乙烯塑料 (ABS) 仪表壳在实际生产中废品率较高的问题, 采用 Pro/E 对仪表壳进行三维造型, 并基于 MPI 软件对其注射成型过程进行分析模拟, 得到包括充填、流动、保压、冷却、翘曲及最佳浇口位置、熔接痕位置、气穴位置、流动时间、保压时间、冷却时间和温度分布等信息。对浇注系统进行优化分析, 获得最佳的浇口方案; 对影响冷却系统冷却效果的多种因素用控制变量法逐一分析, 得到相应的优化方案; 以翘曲变形量为目标, 采用多因素正交试验法进行翘曲变形分析, 比较了不同熔料温度、保压压力、冷却时间条件下, PC/ABS 仪表壳翘曲变形量的变化情况, 最终得到了优化的工艺参数组合, 提高了仪表壳的生产成功率。

关键词: Moldflow; 注射成型; 浇注系统; 冷却系统; 翘曲变形; 工艺参数优化

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)11-0059-04

CAE Analysis of Instrument Shell Plastic Injection Molding

Wang Fei¹, Gu Nan¹, Wei Dazhong², Cao Zhengkai¹, Hu Xiang³

(1. Automation School of Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China; 2. Beijing Institute of Control Engineering, Beijing 100190, China; 3. Department of Electronic Technique, China Maritime Police Academy, Ningbo 315801, China)

Abstract: Due to the high rejection rate of polycarbonate(PC)/acrylonitrile butadiene styrene plastic(ABS) instrument shell in the actual production, Pro/E was used to make three-dimensional modeling of the instrument shell. Based on MPI software for analysis of its simulation of the injection molding process, including filling, flow, holding pressure, cooling, warpage, the best location of the gate, location of welding marks, location of cavitations, flowing time, holding pressure time, cooling time, temperature distribution and other accurate information was got. The gating system was optimized and the best gate project was got. The factors affecting the cooling system cooling effect were analyzed one by one by controlling variable method and the corresponding optimization programs was obtained. The orthogonal test method was used to analyze the warping deformation, the change of the warping deformation of PC/ABS instrument shell under different conditions of melt temperature, holding pressure, cooling time was compared. Finally, the optimized combination of process parameters of the shell was got, the success rate of the meter shell production was improved.

Keywords: Moldflow; injection molding; gating system; cooling system; warping deformation; process parameter optimization

随着互联网时代的来临, 移动电话和笔记本电脑等电子产品的日益普及, 塑料工业也得到了飞速发展。生产生活中对塑料制品的质量要求越来越高, 如塑料件的高精度、轻量化、高强度等。对于一些复杂的薄壁注塑产品而言, 其成型生产中发生短射、残余应力和翘曲变形等问题的几率很大, 因而对成型工艺的要求较高^[1]。生产中的许多缺陷, 如飞边、熔接痕、气孔等会影响制品的力学性能和外观质量, 直接导致产品废品率的提升。

仪表壳是复杂薄壁注塑产品的典型代表。笔者结合聚碳酸酯 (PC)/ 丙烯腈 - 丁二烯 - 苯乙烯塑料 (ABS) 仪表壳的实际生产, 基于 MPI 软件对其注射成型过程进行分析模拟。这有助于发现产品成型过

程中的潜在缺陷, 从而提高一次试模的成功率, 进而降低生产成本和缩短生产周期。同时, 对研究注塑产品的注射成型工艺有借鉴意义。

1 微机辅助成型 (CAE) 分析的理论基础

注射成型 CAE 技术是为优化模具设计和控制产品成型过程以获得理想产品而提供的一种科学分析方法^[2]。

合理设计的模具、先进的注射设备和精湛的加工工艺是制造合格注塑产品的三要素^[3]。在实际生产中, 当模具与注射设备一定的情况下, 加工工艺对

联系人: 王飞, 教授, 主要从事工程图学、计算机图形学、机械制造等方面的研究

收稿日期: 2015-09-02

产品的生产周期、成本以及合格率影响很大。因此,在设计过程中对产品成型工艺的 CAE 分析就显得尤为重要。

Moldflow 软件是目前注射成型 CAE 分析领域的主流软件。它融合了弹性力学和流体力学等技术,采用有限元方法对注射成型过程进行模拟分析^[4]。其主要用到的原理公式如式(1)和式(2)。

$$\eta = \alpha \gamma^{\beta} \exp[CT] \quad (1)$$

式中: η 为黏度; γ 为剪切率; T 为温度; α 为黏度系数; β 为剪切系数; C 为温度系数。

$$\gamma' = A_1 + A_2X + A_3Z + A_4X^2 + A_5XZ + A_6Z^2 \quad (2)$$

式中: γ' 为黏度; X 为剪切率; Z 为温度; $A_1 \sim A_6$ 是多项式的 6 个系数。

2 仪表壳的实体建模和网格划分

仪表壳的材料为 PC/ABS。按照图纸尺寸可得到仪表壳的外形尺寸为 104 mm × 62 mm × 38 mm。该产品有凹槽、凸台、圆角、圆孔等 38 个特征。整体厚度为 2 mm,最小的孔直径不足 2 mm,部分圆角半径只有 0.1 mm,部分特征壁厚从 1 mm 至 4 mm 不等。此外,由于塑料件制品精度要求较高且特征复杂,为方便脱模,塑料件的拔模斜度为 1°。使用参数化的三维实体造型主流软件 Pro/E 建立仪表壳的三维模型,如图 1 所示。

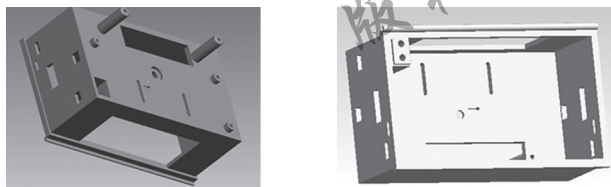


图 1 仪表壳的三维模型

将建立的“STL”格式的模型文件导入 Moldflow 中,针对已导入的仪表壳的模型,Moldflow 将根据模型的尺寸大小和壁厚生成有限元网格。利用网格诊断可以对纵横比、自由边、连通性、重叠单元等不合理的网格进行优化。图 2 为网格划分的结果。

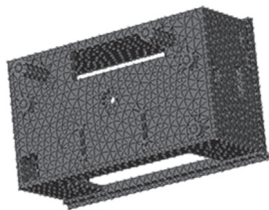


图 2 仪表壳的网格划分

3 基于 CAE 技术的优化分析

3.1 浇注系统的优化分析

在注射成型过程中,浇口的位置和数目对塑料熔融体的流动平衡影响很大,进而影响到塑料件的质量^[5-6]。适当的浇口位置可以避免短射等缺陷的出现;合理的浇口数目,可以减少熔接痕和气穴等表面缺陷,提高表面质量,节约生产成本。为了得到合理的浇口位置和数目,根据塑料件的质量要求,先由流动分析得出最佳浇口位置,如图 3 所示。然后,改变浇口位置和数目,设计出六种不同的浇口方案。

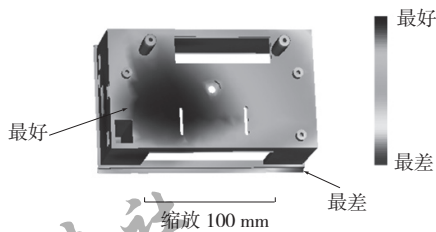


图 3 最佳浇口位置

方案如下:方案一为单浇口,设置在塑料件中心位置附近(节点 2506—由网格划分得到),即预分析中得到的最佳浇口位置;方案二为双浇口,分别设置在节点 2506 和节点 0943 处;方案三为三浇口,分别设置在节点 2506、节点 0943 和节点 1307 处;方案四为三浇口,分别设置在节点 2506、节点 0943 和节点 1528 处;方案五为三浇口,分别设置在节点 2506、节点 1826 和节点 0759 处;方案六为四浇口,分别设置在节点 2506、节点 0943、节点 1307 和节点 1528 处。以上六种浇口方案除浇口位置和数目不同外,均采用相同的注塑工艺参数。使用 Moldflow 进行模拟分析,得到表 1 的模拟结果。方案五的熔接痕与气穴分布图分别见图 4 和图 5。

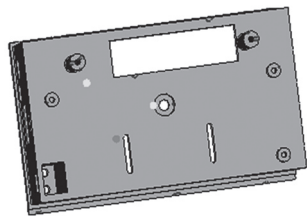


图 4 方案五气穴分布

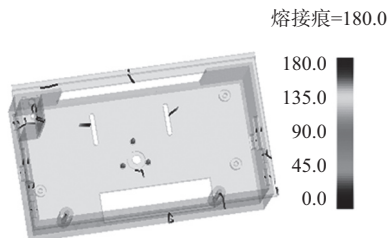


图 5 方案五熔接痕分布

表 1 六种浇口位置方案的模拟结果

项目	方案一	方案二	方案三	方案四	方案五	方案六
最大注射压力 /MPa	37.200 1	34.824 0	31.378 7	33.979 4	36.389 4	31.258 2
充填结束时间 /s	2.081 0	1.958 0	1.921 0	2.052 4	1.913 5	1.827 0
最大锁模力 /t	16.899 0	15.802 0	14.419 7	15.649 7	16.690 0	14.384 5
保压结束时间 /s	30.163 0	30.053 0	30.156 7	30.007 7	30.154 7	30.150 0
制品总质量 /g	35.039 0	33.8289 0	34.923 0	34.949 2	35.011 5	34.914 6
体积收缩率最大值 /%	6.918 1	6.941 0	7.033 4	6.911 7	6.970 1	7.053 4
体积收缩率最小值 /%	0.646 0	0.644 0	0.641 5	0.641 6	0.645 3	0.641 9
体积收缩率平均值 /%	4.074 0	4.064 0	4.158 5	4.077 4	4.013 8	5.129 7
体积收缩率标准差 /%	1.020 0	1.071 0	1.082 8	1.072 6	1.065 5	1.087 0
缩痕指数最大值 /%	4.978 0	5.000 0	5.108 7	4.985 6	5.029 5	5.129 7
缩痕指数最小值 /%	2.173 0	2.165 0	2.256 3	2.179 0	2.117 7	2.274 2
翘曲变形量最大值 /mm	0.749 9	0.747 3	0.769 2	0.755 1	0.744 0	0.771 2

仪表壳对外观质量要求较高,需要考虑到气穴和熔接痕的分布与数量、体积收缩率、缩痕指数以及翘曲变形等主要缺陷。

由表 1 结合图 4 和图 5 分析可得,方案五在六个方案中有以下优点:①翘曲变形量最小;②缩痕指数和体积收缩率较小,对塑料件表面质量影响较小;③在未发生短射的情况下,填充时间较短,有利于提高生产效率;④熔接痕与气穴数量较少,且分散分布,对塑料件质量影响相对较小。综上所述,推荐方案五作为仪表壳的浇口方案。方案五的浇口位置与数量如图 6 所示。

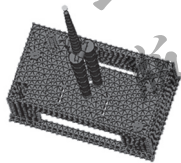


图 6 方案五最佳浇口位置和数目

3.2 冷却系统的优化分析

冷却系统的设计对塑料件的质量、生产效率和成本有着直接的影响^[7]。通常,冷却耗时占整个生产周期的 2/3 以上^[8]。水管的直径和个数以及安装参数是影响冷却效果的主要因素。采用控制变量法逐一对各参数进行分析,设计了九种不同的冷却方案,如表 2 所示。模拟分析结果见表 3。

表 2 冷却系统方案的参数设置

方案	管数	直径 /mm	排列方式	管道与制品的距离 /mm	管道中心距离 /mm	管道超出距离 /mm
一	2	10	X	25	30	50
二	4	10	X	25	30	50
三	8	10	X	25	30	50
四	8	12	X	25	30	50
五	8	10	Y	25	30	50
六	8	10	X	20	30	50
七	8	10	X	25	15	50
八	8	10	X	25	30	20
九	8	12	X	20	15	20

表 3 九种冷却系统方案的模拟结果

项目	方案一	方案二	方案三	方案四	方案五	方案六	方案七	方案八	方案九
充填时间 /s	1.929 0	1.923 5	1.924 3	1.925 6	1.914 9	1.933 9	1.909 2	1.908 2	1.913 1
体积收缩率 /%	4.069 3	4.039 1	4.024 5	4.015 7	4.032 9	4.019 1	4.024 0	4.031 1	4.010 5
制品冷却时间 /s	18.70	18.45	18.39	18.37	18.39	18.27	18.34	18.41	18.19
制品最高温度 /℃	78.53	77.07	76.75	76.63	76.73	76.02	76.46	76.81	75.57
热去除效率 /%	0.355 9	0.253 9	0.063 3	0.048 3	0.111 3	0.036 7	0.040 4	0.119 4	0.211 9
翘曲变形总量 /mm	0.745 6	0.743 0	0.743 1	0.743 1	0.744 2	0.746 1	0.742 6	0.743 0	0.744 4

从表 3 可以看出,方案九中,制品的充填时间 1.913 1 s,是所有方案中较小的;回路介质温度增幅 0.28℃,同样也是最低的;冷却时间降低到了 18.19 s,是所有方案中最短的;制品的最高温度为 75.57℃。回路的热去除效率达到较大,为 0.211 9%,翘曲变形总量为 0.744 4 mm,在所有方案中较小。冷却水管的排列方式指的是冷却水管的水流方向相对制件的位置坐标。管中水流方向是沿着 X 轴方向的,即为 X 排列方式,相比于 Y 排列方

式冷却效果更好。分析可得,方案九具有以下优点:

①翘曲变形量较小;②体积收缩率最低,保证了塑料件的成型质量;③冷却效率最高,提高了生产率,降低了经济成本。综上所述,推荐方案九作为仪表壳的冷却系统方案。

3.3 翘曲变形的优化分析

翘曲变形的主要影响因素有保压压力、熔体温度和冷却时间。其中,保压压力的影响最大^[9-10]。因此,选择熔体温度、保压压力和冷却时间作为正交

试验中的因子,各因子各选取三个水平。模具温度、注射速度和保压时间设置为推荐值。同时,将翘曲变形量的大小作为质量衡量指标。三个工艺参数因子的三水平选取见表4。

选取 $L_9(3^3)$ 正交表进行试验设计。基于冷却系统方案九进行正交试验,结果如表5所示。根据 Moldflow 模拟结果显示,在9种正交试验中,试验9中的翘曲变形量最小,为0.0656 mm,产品质量最好。同时,得到了相应的优化参数组合,即保压压力为90 MPa,熔体温度为260℃,冷却时间为20 s。模拟分析证实,翘曲变形受保压压力的影响最大,其次是熔体温度。在相同的保压压力和熔体温度的条件下,冷却时间对翘曲变形量的影响较小。

表4 各参数因子值

序号	保压压力 / MPa	熔体温度 / ℃	冷却时间 / s
1	70	250	15
2	80	255	20
3	90	260	25

表5 正交试验结果

试验号	保压压力 / MPa	熔体温度 / ℃	冷却时间 / s	翘曲变形量 / mm
1 [#]	70	250	15	0.420 4
2 [#]	80	250	20	0.281 4
3 [#]	90	250	25	0.136 3
4 [#]	70	255	20	0.405 2
5 [#]	80	255	25	0.258 3
6 [#]	90	255	15	0.101 2
7 [#]	70	260	25	0.370 4
8 [#]	80	260	15	0.214 5
9 [#]	90	260	20	0.065 6

4 结论

通过对仪表壳用 Moldflow 软件进行模拟分析,分别对浇注系统、冷却系统和翘曲变形的相关参数进行了优化分析。得到如下结论:

(1) 浇口位置分别设置在预分析的最佳位置(节点2506)、关于中心孔的对称点(1826)以及可以与这两点组成正三角形的节点(0759)的填充模式是最佳的;冷却系统的冷却水管个数为8,直径为12 mm,排列方式为X型排列,水管与制品的距离为20 mm,管道中心距离为15 mm,水管超出制品距离为20 mm。该方案的冷却效果较为理想;优化后的翘曲变形量方案使翘曲变形量从0.7444 mm降低到0.0656 mm,有效地改善了翘曲变形,达到了仪表外壳组装的要求。通过优化参数提高了仪表壳的生产效率和产品成功率。

(2) 仪表壳注射成型工艺 CAE 分析得到的结果

与试模结果基本一致,模拟分析中得到的优化工艺参数对实际生产有着重要的指导意义。

参考文献

- [1] 吴俊超,陈爱霞.复杂薄壁注塑件注射成型工艺 CAE 分析及参数优化[J].塑料,2014,43(5):108-112.
Wu Junchao, Chen AiXia. CAE analysis and parameter optimization of complex thin-walled plastic injection molding[J]. Plastics, 2014, 43(5):108-112.
- [2] 李德群.国外注射模 CAD/CAE/CAM 发展概况[J].模具工业,1994,163(9):47-48.
Li Dequn. The development of CAD/CAM/CAE in foreign countries[J]. Die & Mould Industry, 1994, 163(9):47-53.
- [3] 刘来英.注射成型工艺[M].北京:机械工业出版社,2005.
Liu Laiying. Injection molding process[M]. Beijing: China Machine Press, 2005.
- [4] 余卫东,陈建. Moldflow 技术在注塑成型过程中的应用[J]. CAD/CAM 与制造业信息化,2002(5):33-35.
Yu Weidong, Chen Jian. The application of moldflow in injection molding[J]. Digital Manufacturing Industry, 2002(5):33-35.
- [5] 刘吉兆,毕经霞.注射模浇口位置和数目的选择[J].模具工业,2005(3):45-48.
Liu Jizhao, Bi Jingxia. Determination of the gate location and number for injection moulds[J]. Die & Mould Industry, 2005(3):45-48.
- [6] 刘守荣.塑料成型工程学[M].北京:机械工业出版社,2006.
Liu Shourong. Plastic molding Engineering[M]. Beijing: China Machine Press, 2006.
- [7] 陈冲.基于 CAE 技术注塑模冷却系统优化设计[J].机电工程技术,2014,43(11):65-68.
Chen Chong. Optimization of cooling system for injection molding product based on CAE[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2014, 43(11):65-68.
- [8] 李耀辉,许春龙,韩阳飞.基于 CAE 技术的电视机视窗注塑模冷却系统多方案优化[J].机械设计与制造,2007(12):195-197.
Li Yaohui, Xu Chunlong, Han Yangfei. Optional cooling system design for television screen's Injection molding based on CAE[J]. Machinery Design & Manufacture, 2007(12):195-197.
- [9] 张静.复杂制品注射成型的 CAE 模拟[D].北京:北京化工大学,2006.
Zhang Jing. Analysis on injection process of the part with complicated structure by CAE[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2006.
- [10] 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,2003,17(3):53-58.
Li Haimei, Liu Yongzhi, Shen Changyu, et al. Study on the warpage of injection molded parts by CAE [J]. China Plastics, 2003, 17(3):53-58.