

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.01.003

汽车开关面板注射成型工艺参数优化

张书魁, 孙首群

(上海理工大学 机械工程学院, 上海 200093)

摘要:针对汽车内饰件开关面板这类制品在注射加工过程中容易产生翘曲变形的缺陷,采用计算机 CAE 模拟技术和 Taguchi 试验相结合的方法,以翘曲变形作为质量指标,把注射过程中的模具温度、熔体温度、注射时间、保压时间和保压压力这 5 个工艺参数作为影响制品翘曲变形的影响因素,运用 CAE 软件对不同水平下各工艺参数进行注射成型的数值模拟。结合极差分析法、信噪比法优化得到最优工艺参数组合来减少翘曲量。将得到的最优工艺参数组合进行 CAE 模拟,发现开关面板的翘曲变形得到较大的改善。通过实际注射试验验证了 CAE 模拟的结果。

关键词:注射成型;汽车开关面板;翘曲变形;Taguchi 实验;信噪比;极差分析

中图分类号:TQ320.66

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2016)01-0009-05

Optimization Analysis of Switch Panel Injection Molding Process Parameters on Taguchi Test

ZHANG Shukui, SUN Shouqun

(School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: According to warpage deformation of the automotive interior switch panel in injection molding, combined the computer CAE simulation with the Taguchi test. Adopted the warpage deformation as the quality index, and the five factors of processing parameters such as the molding temperature, melt temperature, filling time, packing time and packing pressure as the influence factors. CAE software was used to make the moldflow analysis of the switch panel processing parameters, and then getting its warpage results. Adopted the method of range analysis and S/N (Signal-Noise Ratio), optimizing the parameters and getting the optimum combination to reduce the warpage deformation. After CAE simulation of the optimum combination processing parameters, the warpage deformation is minimized. And the CAE analysis data is also proved by practical injection test.

Key words: injection molding; automotive switch panel; warpage deformation; Taguchi test; signal to noise ratio; range analysis

随着现代计算机技术的快速发展,塑料模具计算机 CAE 技术得到了越来越广泛的应用,CAE 技术可以帮助设计人员发现模具设计过程中的问题,帮助快速修改设计方案,以此缩短生产周期^[1]。目前汽车内饰件相当一部分配件采用塑料材质,本文研究的开关也是其中之一。塑料制品的注射成型是一个较为复杂、非线性、多变量的加工过程,每个工艺参数都会对制品成型产生重要的影响,其中翘曲变形就是其中的关键因素,而注射工艺参数的设定对制品的翘曲变形

有着直接的影响。

正交试验方法就是研究多因素试验的一种科学方法,广泛地运用在塑料注射成型分析中。Huang M C 等^[2]利用正交试验法设计分析了保压时间、熔体温度等工艺参数对制品翘曲变形的影响;Erzurumlu 等^[3]采用正交试验法优化了制品成型工艺参数,减小了制品的翘曲变形;陈晨等^[4]利用正交试验结合神经网络与遗传算法优化了影响翘曲变形的工艺参数。正交实验是利用规格化的正交表设计试验方案和分析试验结

收稿日期:2015-02-04;修回日期:2015-08-10

基金项目:国家自然科学基金(51205255);国家科技支撑计划资助(2015BAK16B04)。

作者简介:张书魁(1990),男,江苏常州人,硕士研究生,主要研究方向为模具技术。E-mail:619325571@qq.com

果^[5],本文运用正交试验结合极差分析法和信噪比法,得到各工艺参数对翘曲变形的影响程度,找出最优工艺参数组合,以此来减少翘曲量。并将得到的最优工艺参数组合进行 CAE 模拟,发现开关面板的翘曲变形得到较大的改善,并通过实际注射试验验证了 CAE 模拟的结果。

1 开关面板的模拟分析

1.1 开关面板的模型及材料

开关面板属于中小型制品,尺寸为 350 mm × 200 mm × 75 mm,平均壁厚为 2.5 mm,如图 1 所示。开关面板主要是由上下相连的平面组成,左右对称排布着小孔。选用的材料是 Baybleng T65 XF,是由 PC 和 ABS 2 种材料合成的热可塑性塑胶,结合了 2 者的优异性,具有良好的塑模性、抗冲击性、抗热性等优点。材料的加工参数如表 1 所示。

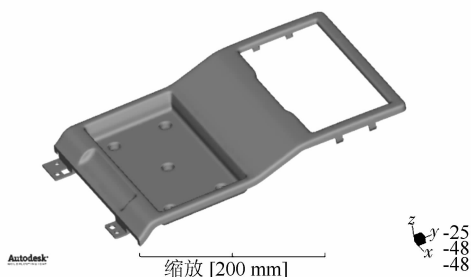


图 1 开关面板模型

Figure 1 Switch panel model

表 1 Baybleng T65 XF 的加工参数

Table 1 Processing parameters of Baybleng T65 XF

熔体 温度/℃	模具 温度/℃	顶出 温度/℃	最大剪 切力/MPa	最大剪切 速度/s ⁻¹
240 ~ 280	70 ~ 90	93	0.4	40 000

1.2 网格划分、浇注系统及冷却系统

针对开关面板塑体 Moldflow CAD Doctor 导入 UG 创建的三维模型,去除倒角、圆角等影响较小的结构,然后将已修复的模型导入到 Moldflow 中,采用双层面网格划分。网格边长取 3 mm,划分完毕后网格匹配百分比为 95.1 %,相互百分比为 93.0 %,网格品质良好。为了保证制品的生产效率和精度,保证模具的强度,模具采用热流道结构方式,其浇注系统采用热流道和冷流道组合浇注方式,模具型腔采用一模一腔。根据开关面板的实际结构和相关经验,网格化的模型和浇口方案如图 2 所示,冷却方案如图 3 所示。

1.3 模拟分析

工艺参数按照 Moldflow 的默认参数进行模拟分

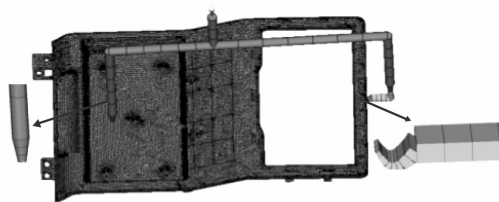


图 2 网格划分及浇注系统

Figure 2 Mesh model and gate location

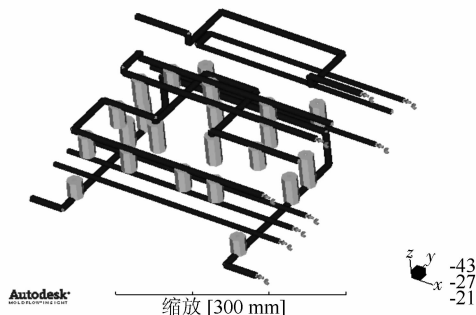


图 3 冷却系统

Figure 3 Cooling system

析,得到翘曲变形量为 2.067 mm,翘曲位置主要发生在开关面板最右边靠近浇口位置的细边上。而该开关面板的材料收缩率为 0.6%,长度为 350 mm,则理论收缩量为 $350 \times 0.6\% = 2.1$ mm,与得到的翘曲变形量接近,结果大致符合。但是由于汽车内饰对设计的外观要求较高,注射成型后需要进行装配组装,所以要严格控制翘曲变形。

2 正交实验分析

正交试验是应用正交矩阵来进行试验,根据正交性筛选部分具有代表性的参数进行试验。在注射成型的过程中,影响制品翘曲变形的工艺参数有许多,每个工艺参数对制品翘曲变形的影响不同但是相互关联、相互制约,本文选取模具温度、熔体温度、注射时间、保压时间和保压压力这 5 个工艺参数,通过建立正交表,运用极差分析法、信噪比分析法得到每个参数对制品翘曲变形的影响程度,选出最佳参数组合。

2.1 试验因素及水平

试验以翘曲变形量为主要指标,令熔体温度、模具温度、注射时间、保压时间和保压压力这 5 个因素分别对应因素 A, B, C, D, E,每个因素各选取 4 个水平,具体如表 2 所示。

2.2 模拟结果与分析

根据选取的试验因素和水平,采用 5 因素 4 水平正交矩阵,安排做 16 次试验,得到一个 $L_{16}(4^5)$ 的正交

表格,在 CAE 软件 Moldflow 输入正交表格中对应的试验因素值进行模拟分析,得到每次试验开关面板的翘曲量,如表 3 所示^[6]。

表 2 试验因素及水平

Table 2 Experiment factors and levels

水平	因素				
	模具温度 A/℃	熔体温度 B/℃	注射时间 C/s	保压时间 D/s	保压压力 E/MPa
1	70	260	2	4	40
2	80	265	3	8	45
3	90	270	4	12	50
4	100	275	5	16	55

表 3 正交试验表及结果

Table 3 Orthogonal experiment table and results

序号	模具温度 A/℃	熔体温度 B/℃	注射时间 C/s	保压时间 D/s	保压压力 E/MPa	翘曲量/mm	信噪比/dB
1	70	260	5	16	50	1.863	-5.404
2	80	260	2	12	55	1.890	-5.467
3	90	260	3	8	40	1.931	-5.552
4	100	260	4	4	45	2.028	-5.707
5	70	265	4	12	55	1.830	-5.619
6	80	265	5	16	50	1.901	-5.612
7	90	265	2	4	45	2.067	-5.719
8	100	265	3	8	40	1.905	-5.704
9	70	270	3	8	40	1.882	-5.694
10	80	270	4	4	45	1.909	-5.681
11	90	270	5	16	50	1.897	-5.670
12	100	270	2	12	55	1.980	-5.693
13	70	275	2	4	55	1.975	-5.710
14	80	275	3	8	40	1.971	-5.723
15	90	275	4	12	45	1.942	-5.726
16	100	275	5	16	50	1.845	-5.702

2.2.1 翘曲量的极差分析

对正交试验结果进行分析统计,得到不同因素在 4 个水平下翘曲量总和的平均值。极差 R 是指不同因素在不同水平下均值的最大值减去最小值,极差的大小可以反映各工艺参数的变化对翘曲变形量的影响程度,极差 R 的值越大说明这个工艺参数对翘曲变形的影响越大,也说明了这个工艺参数相对越为重要。各工艺参数翘曲变形量极差 R 的结果如表 4 所示。

表 4 翘曲量的极差分析

Table 4 Range analysis of warpage

因素	翘曲量总和均值				极差 R
	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4	
模具温度 A	1.887 50	1.917 50	1.959 00	1.939 50	0.071 50
熔体温度 B	1.928 00	1.926 00	1.917 00	1.919 00	0.011 00
注射时间 C	1.978 00	1.922 25	1.927 25	1.876 50	0.101 50
保压时间 D	1.994 75	1.922 50	1.910 50	1.876 50	0.118 25
保压压力 E	1.922 25	1.968 50	1.876 50	1.918 75	0.092 00

为了直观地观察各工艺参数的变化对翘曲变形的影响,以各工艺参数作为横坐标,各参数在不同水平下对应的翘曲量平均值作为纵坐标,各工艺参数对翘曲变形的影响趋势如图 4 所示。由图可知,不同的工艺参数对制品翘曲量影响不同,影响程度排名依次为保压时间 > 注射时间 > 保压压力 > 模具温度 > 熔体温度^[7]。

保压时间对制品翘曲变形的影响最大。制品翘曲变形量随着保压时间的增大而增大。主要是由于随着保压时间的增加,更多熔体可以流入型腔来填补收缩形成的空腔,很好地起到了压实补缩的作用,从而减少了制品翘曲量。不过保压时间也不能过长,保压时间过长会导致制品的内部应力增加,使制品成型后翘曲变形量增大^[8]。

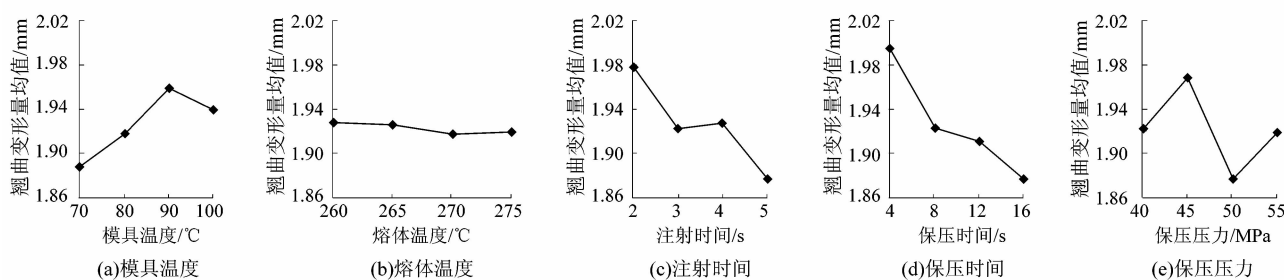


图 4 翘曲变形-工艺参数

Figure 4 Effect of factors on warpage

其次对制品翘曲变形影响较大的是注射时间,随着注射时间的增加,翘曲变形量不稳定。主要是由于注射时间在 2~3 s 的范围内,注射的效率较高,使聚

合物分子的结晶和取向度加强,增加了制品内部的残余应力,从而增大制品的翘曲变形量,随着注射时间的增加,聚合物分子在冲模流动的过程中取向度减小,从

而降低了制品的翘曲量。

然后对制品翘曲变形影响较大因素是保压压力,随着保压压力的增大,翘曲量先增大后减小,主要是由于提高保压压力可以提高制品的保压补缩的作用,因而提高制品的严密程度,减少变形。但是过大的保压压力会使模具溢料,使制品内应力增加,加速压力系统的磨损,增大翘曲变形,降低生产效率^[9]。

根据以上分析,由此可以得到最佳工艺参数为 $A_1B_3C_4D_4E_3$ 。即模具温度 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$,熔体温度 $270\text{ }^{\circ}\text{C}$,注射时间 5 s ,保压时间 16 s ,保压压力 50 MPa ,制品的翘曲量最小。

2.2.2 信噪比分析

本文运用信噪比来衡量各工艺参数在不同水平下对制品的翘曲变形的影响。信噪比是信号与噪声的比值,是正交试验中评判效果的重要依据。正交试验方

法可以利用信噪比来衡量因素重要性的标准,信噪比越大,性能对噪声的敏感程度越小^[10]。信噪比公式为

$$\eta = -10\lg\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^2\right),$$

式中, X_i 为第 i 次试验的翘曲值, n 为试验重复的次数。计算出每组试验的信噪比值,具体结果如表 3 所示。对表 3 信噪比数据进行统计分析,得到各因素在不同水平下信噪比之和的平均值,以各工艺水平对应的平均信噪比为纵坐标,工艺参数为横坐标,获得趋势图如图 5 所示。由于因素的信噪比越大,它对制品翘曲变形的程度影响越小,所以根据制品成形后翘曲量越小越好的工艺要求,由图 5 可分析得 $A_1B_1C_4D_4E_3$ 为最优方案,即模具温度 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$,熔体温度 $260\text{ }^{\circ}\text{C}$,注射时间 5 s ,保压时间 16 s ,保压压力 50 MPa ,制品的翘曲量最小。

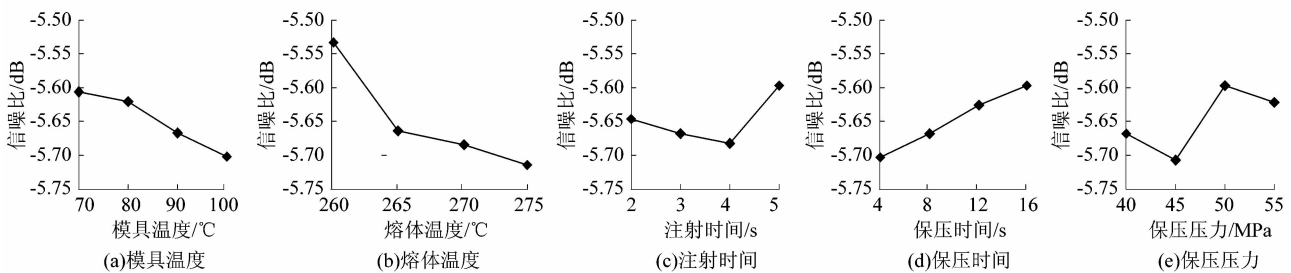


图 5 信噪比-工艺参数

Figure 5 Effect of factors on S/N

2.2.3 CAE 模拟分析验证

由极差分析和信噪比分析,可以看出两者分析结果只有熔体温度不同,由于熔体温度相对于其他 4 个工艺参数对翘曲变形的影响程度较小,所以可以近似认为两者分析结果相同。文章选取最佳工艺参数为 $A_1B_3C_4D_4E_3$,将其导入 CAE 软件进行模拟分析。如图 6 所示,制品的翘曲变形量下降至 1.754 mm ,制品的翘曲变形有了明显的改善。

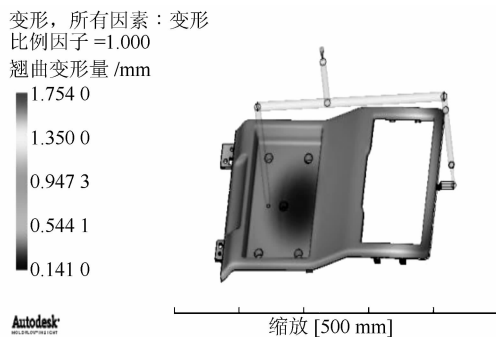


图 6 翘曲变形分析图

Figure 6 Warpage analysis

2.2.4 试验验证

为了验证正交试验设计的准确性,采用最佳工艺组合的工艺参数进行试模。利用三坐标测量机对随机选取的 5 个样品进行测试,测试结果如表 5 所示。对测试结果进行计算,得到该组样品翘曲变形量的平均值为 1.7418 mm ,标准差为 0.005 mm ,与 CAE 模拟得到的结果相近。

表 5 三坐标机测量的翘曲量

Table 5 Warpage measurement of coordinate measuring machine

样品	翘曲量/mm	样品	翘曲量/mm
1	1.726	4	1.735
2	1.783	5	1.768
3	1.697		

3 结论

1) 通过正交试验,基于 CAE 模拟对汽车内饰开关面板进行翘曲变形量分析。通过极差分析,得到各工艺参数对翘曲变形的影响程度和影响趋势。各因素影响权重大小依次为保压时间 > 注射时间 > 保压压

力 > 模具温度 > 熔体温度。

2) 基于 CAE 模拟实验的正交分析和信噪比分析,对各工艺参数进行优化分析,得到最佳工艺组合参数为 $A_1B_3C_4D_4E_3$,即模具温度 70 ℃,熔体温度 270 ℃,注射时间 5 s,保压时间 16 s,保压压力 50 MPa。同时对最佳工艺组合参数进行了模拟验证,得到最大翘曲变形量下降至 1.754 mm,制品的翘曲变形得到了明显的改善。

3) 对优化后的工艺组合参数进行了生产验证,使用最佳工艺组合参数进行试模,利用三坐标测量机测试了 5 个样品,通过测量计算得到该组样品的平均翘曲变形量为 1.741 8 mm,与模拟验证的数据相近,验证了 CAE 模拟分析结果。

参考文献:

- [1] 单岩,王蓓,王刚. Moldflow 模具分析技术基础[M]. 2 版. 北京:清华大学出版社,2005.
- [2] HUANG M C, TAI C C. The effective factors in the warpage problem of an injection mold part with a thin shell feature[J]. Journal of

materials processing technology, 2001, 97(1): 1-9.

- [3] ERZURUMLU T, OZCELIK B. Minimization of warpage and sink index in injection molded thermoplastic parts using taguchi optimization method[J]. Materials & design, 2006, 27(10): 853-861.
- [4] 陈晨,刘全坤,王成勇,等. 高光液晶前壳翘曲变形分析与工艺参数智能优化[J]. 塑性工程学报, 2011, 18(2): 107-113.
- [5] 沈剑. 注射成型浇注系统及成型工艺参数的优化研究[D]. 苏州:苏州大学, 2012: 25-30.
- [6] 陈川,范建蓓,吕永锋. 基于 Moldflow 的电池外壳注射成型研究[J]. 轻工机械, 2014, 32(1): 99-102.
- [7] 孙晋,李永泉,李峰. 注射成形工艺参数对汽车保险杠翘曲变形的影响研究[J]. 塑料工业, 2010, 24(7): 69-73.
- [8] 赵佳峰,狄金叶. 基于正交试验及 Moldflow 模拟优化扶手盖板注塑工艺[J]. 工程塑料应用, 2011, 39(10): 55-57.
- [9] 王桂龙,赵国群,李辉平,等. 薄壁注塑制品翘曲影响因素分析与工艺优化[J]. 中国机械工程, 2009, 20(4): 488-491.
- [10] 贾振元,顾丰,王福吉,等. 基于信噪比与灰色关联度的电火花微小孔加工工艺参数的优化[J]. 机械工程学报, 2007, 43(7): 63-67.

(上接第 4 页)

- [3] 姜力,刘宏,蔡鹤皋,等. 基于神经网络的多维力传感器静态解耦的研究[J]. 中国机械工程, 2002, 13(24): 2100-2103.
- [4] 茅晨,宋爱国,高翔,等. 六维力/力矩传感器静态解耦算法的研究与应用[J]. 传感技术学报, 2015, 28(2): 205-210.
- [5] 王菲露. 基于神经网络方法的三维力柔性触觉传感器阵列解耦研究[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2014: 27-32.
- [6] 洪炳熔,金飞虎,高庆吉. 基于蚁群算法的多层前馈神经网络[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(7): 823-825.
- [7] 吴冬敏,邵剑平,芮延年. 基于蚁群算法和神经网络的数控机床故

障诊断技术研究[J]. 机械设计与制造, 2013(1): 165-167.

- [8] 洪月华. 一种基于蚁群算法与粗糙集的混合 BP 神经网络[J]. 微电子学与计算机, 2014, 31(4): 156-159.
- [9] 许德章,吴仲城,葛运建,等. 机器人六维力腕力传感器耦合矩阵的确定与振动分析[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(1): 75-81.
- [10] 陈明. MATLAB 神经网络原理与实例精解[M]. 北京:清华大学出版社, 2013.
- [11] 朱凯,王正林. 精通 MATLAB 神经网络[M]. 北京:电子工业出版社, 2010.

(上接第 8 页)

具有精度高,操作简单,设备数量少,成本低,无需穿戴传感器设备,易学易用等特点。并可实现远程操作,多方数据共享的功能。这一技术为进一步研究无需传感器的肢体交互智能机器人提供了基础。

参考文献:

- [1] 余涛. Kinect 应用开发实战[M]. 北京:机械工业出版社, 2013.
- [2] 华强电子网. Kinect 简介[DB/OL]. (2014-03-20) [2015-03-20]. <http://www.hqew.com/tech/wiki/4815.html#dzt22324>.
- [3] 崔吉,张燕超. 一种六自由度机械手的运动学分析[J]. 机械, 2009, 36(11): 16-19.
- [4] 陈鹏,刘璐,余飞,等. 一种仿人机械臂的运动学逆解的几何求解方法[J]. 机器人, 2012, 34(2): 211-216.

- [5] 丁大民,邓琛,张琴舜,等. 机械臂非线性定位方程计算新方法[J]. 轻工机械, 2014, 32(6): 66-69.
- [6] 王淑莲,孙辉,张聿成,等. 二次调节节能系统非线性 PID 控制器设计[J]. 液压与气动, 2004(9): 17-18.
- [7] 魏来,负超,杨学兵. 线性二次调节器在机械臂非线性控制中的应用研究[J]. 机电工程, 2015, 32(6): 739-743.
- [8] WANG Xiaofeng, ZHANG Tie. A family of Steffensen type methods with seventh-order convergence[J]. Numer. algor, 2013, 62(3): 429-444.
- [9] 李波,张瑾,李国栋. 排爆机器人机械臂控制系统设计[J]. 机电工程, 2015, 32(8): 1110-1114.
- [10] 万志成. 六自由度排爆机械臂控制系统设计[D]. 上海:上海交通大学, 2008: 10-13.