［新设备·新材料·新方法］

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2019.03.016

塑料接线盒的型腔残余应力正交优化

桑秋枫，王　乾

（常州轻工职业技术学院 机械工程与技术学院，江苏 常州　213164）

摘　要：由于塑料接线盒结构比较复杂，面上和侧边有多个小孔，对于注塑成型时熔体流动的阻碍改向较多，易产生较大的型腔内残余应力，影响塑件强度。笔者设计了正交试验方案列表，并对每个方案组合进行了Moldflow分析，研究了模具温度、注射时间、保压时间、冷却时间、熔体温度和保压压力6个参数对型腔残余应力的影响，找到了不同因素的影响力大小，合理进行了工艺参数组合的优化，找到了残余应力最小时的最佳工艺参数组合。试验结果表明：正交试验可以针对试验指标结果进行某一注塑参数的精准优化，避免大量无序摸索，节省了注塑企业的时间和材料成本。

关　键　词：注塑模具；正交试验；残余应力；塑件强度；熔体温度

中图分类号：TQ320.6　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1005-2895(2019)03-0081-04

Optimization of Residual Stress in Cavity of Plastic Junction Box Based on Orthogonal Test

SANG Qiufeng, WANG Qian

(Department of Mechanical Engineering and Technology, Changzhou Institute of Light Industry Technology, Changzhou, Jiangsu 213164, China)

Abstract: The structure of the plastic junction box was complex with many small holes on the sides. There were many hindrances to the melt flow during injection molding. It was easy to produce larger cavity residual stress affecting the strength of plastic parts. The list of scientific orthogonal test plans was designed. And each scheme combination was analyzed by Moldflow. The influences of mold temperature, injection time, holding time, cooling time, melt temperature and holding pressure on the variation of residual stress in cavity were studied. The influences of different factors were found. The combination of process parameters was reasonable optimized. The best technology parameters of minimum residual stress were found. The test results show that the orthogonal test can be used to optimize the injection parameters accurately according to the test index, avoid a large number of random exploration and save time and material cost of injection enterprises.

Keywords: injection mold; orthogonal test; residual stress; plastic parts strength; melt temperature

1　塑件分析

塑料接线盒如图1所示，从图中可以看出塑件结构比较复杂，面上和侧边有多个小孔，对于注塑成型时熔体流动的阻碍改向较多，通过Moldflow分析其型腔残余应力，可在计算机端通过优化工艺参数的方式有效降低塑件型腔残余应力，提高塑件强度，避免多次试模造成耗材的极大浪费。但是CAE分析解决了实际耗材消耗的问题，并不能解决试验无序的问题，通过正交试验可科学设计试验标的，通过典型工艺参数组合的试验分析结果反映包含未做试验在内的全面试验信息，减少试验次数，得出科学结果[1]。

从塑件的形状特点来看，采用一模一腔中间两点进料的成型结构，辅以立体式冷却水道[2]，将塑件模型导入Moldflow，进行网格划分，建好浇注系统和冷却

收稿日期：2018-10-08；**修回日期**：2019-01-22

基金项目：江苏省“333工程”第三层次培养对象项目；2018年江苏省大学生实践创新训练计划项目(201813101018X)。

第一作者简介：桑秋枫(1997)男，江苏苏州人，主要研究方向为模具设计与制造。**通信作者**：王乾(1982)，男，江苏常州人，硕士，副教授，主要研究方向为塑料模具CAD/CAM/CAE。E-mail:241869197@qq.com

系统,如图 2 所示,网格密度定义为 1 mm,划分成 11 398 个三角形单元。浇注系统沿塑件长度方向设置浇口进料,即沿 Y 方向进料,塑料分子的流动取向与进料方向相同,即沿 Y 方向是 Moldflow 分析中的第一方向残余应力,也是塑件使用的主方向,文中即是分析这一主方向的型腔残余应力优化[3]。

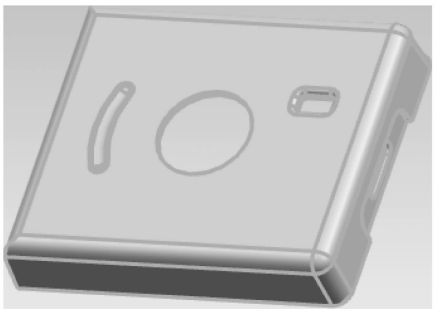

图 1 塑件

Figure 1 Plastic part

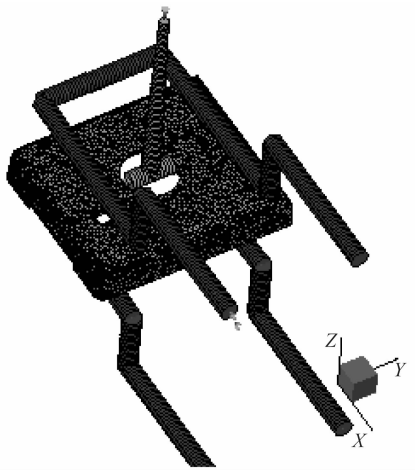

图 2 分析模型

Figure 2 Analysis model

2 基于正交试验的 CAE 分析

2.1 正交试验因素水平设置

塑件注塑成型时设计的工艺因素主要有:模具温度、注射时间、保压时间、冷却时间、熔体温度和保压压力,科学设计试验,考察这 6 个试验因素对 Y 方向型腔残余应力的影响变化,找到不同因素的影响力大小,合理进行工艺参数组合优化[4]。根据材料的成型工艺性与笔者多年的经验,设计正交试验 $L_{16}(4^6)$ 因素与水平表如表 1 所示。

2.2 试验方案设计

对表 1 中设置的试验因素与水平进行试验方案设计,将方案中的工艺参数组合一一做 Moldflow 模流分析[5-6],得到结果如表 2 所示。

表 1 试验因素与水平

Table 1 Test factors and levels

水平	试验因素					
	A 模具温度/℃	B 注射时间/s	C 保压时间/s	D 冷却时间/s	E 熔体温度/℃	F 保压压力/%
1	15	0.6	5	7	190	60
2	25	0.9	15	10	210	80
3	35	1.2	25	13	230	100
4	45	1.5	35	16	250	120

表 2 试验方案设计和试验指标结果

Table 2 Test plan design and test results

序号	试验因素						Y 方向型腔残余应力/MPa
	A/℃	B/s	C/s	D/s	E/℃	F/%	
1	15	0.6	5	10	190	80	31.97
2	15	0.9	35	16	210	60	28.84
3	15	1.5	25	13	230	100	26.85
4	15	1.2	15	7	250	120	26.07
5	25	0.9	15	7	190	80	30.43
6	25	1.5	35	13	210	120	28.38
7	25	0.6	5	16	230	60	27.61
8	25	1.2	25	10	250	100	25.84
9	35	1.5	35	10	190	100	29.82
10	35	1.2	15	13	210	80	28.48
11	35	0.9	5	7	230	60	26.96
12	35	0.6	25	16	250	120	27.23
13	45	1.5	25	10	210	60	28.11
14	45	0.6	15	7	250	100	27.07
15	45	0.9	35	16	230	80	27.38
16	45	1.2	5	13	190	120	30.92

2.3 试验结果分析

根据表 2 中的试验结果进行数据分析,得到结果如表 3 所示,表征各水平因素对试验指标结果的影响。

表 3 中 K_1, K_2, K_3和 K_4分别为各因素对应水平的试验指标之和,如因素 A 对应 $K_1 = 31.97 + 28.84 + 26.85 + 26.07 = 113.73$ MPa(即表 2 中模具温度为 15 ℃时对应的 Y 方向残余应力之和);同理可得因素 A 对应 K_2, K_3和 K_4。$\overline{K}_1$,$\overline{K}_2$,$\overline{K}_3$和 $\overline{K}_4$分别为 K_1, K_2, K_3和 K_4除以 4 的平均值(每个因素都有 4 个水平),如因素 A 对应 $\overline{K}_1 = 113.73/4 = 28.43$ MPa。R_j为极差,即各因素对应的试验结果平均值的最大与最小值之差。

以各因素水平为横坐标,以各因素对应的 $\overline{K}_1$,$\overline{K}_2$,$\overline{K}_3$和 $\overline{K}_4$为纵坐标,绘制各工艺参数对残余应力的影响趋势如图 3 所示[7]。

表3　各水平因素对试验指标影响数据分析

Table 3　Analysis of influence of various factors on test index　MPa

因素	K_1	K_2	K_3	K_4	$\bar{K}_1$	$\bar{K}_2$	$\bar{K}_3$	$\bar{K}_4$	R_j
A	113.73	112.26	112.49	113.48	28.43	28.07	28.12	28.37	0.36
B	113.88	113.61	111.31	113.16	28.47	28.40	27.83	28.29	0.64
C	117.46	112.05	108.03	114.42	29.37	28.01	27.01	28.61	2.36
D	110.53	115.74	114.63	111.06	27.63	28.94	28.66	27.77	1.31
E	123.14	113.81	108.80	106.21	30.79	28.45	27.20	26.55	4.24
F	111.52	118.26	109.58	112.60	27.88	29.57	27.40	28.15	2.17

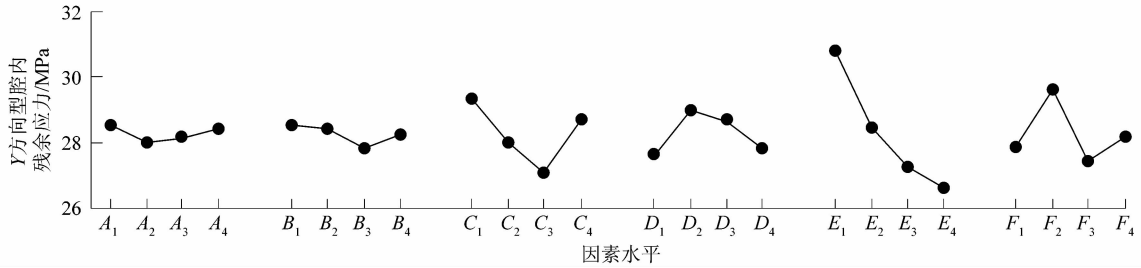

图3　*Y* 方向型腔内残余应力变化趋势

Figure 3　Trend of residual stress in cavity of *Y* direction

表3和图3直观展示了各试验因素对 *Y* 方向型腔内残余应力的影响,残余应力越小就代表塑件的强度越高。制品型腔内的残余应力随模具温度、注射时间和保压时间的增大都是先减小后增大;随冷却时间的增加是先增大后减小;随熔体温度的增加呈较快的下降趋势;受保压压力增大的影响变化比较复杂,是一个先增大再减小又增大的过程,说明保压压力在某一个中间值时为最好。从表3中还可以看到各影响因素的极差 R_j[8-9] 分别是熔体温度(4.24 MPa)>保压时间(2.36 MPa)>保压压力(2.17 MPa)>冷却时间(1.31 MPa)>注射时间(0.64 MPa)>模具温度(0.36 MPa)。这也表明各工艺参数对 *Y* 方向型腔内残余应力的影响力大小,说明熔体温度是型腔内残余应力的最显著影响因素,保压时间和保压压力影响相仿,冷却时间次之,而模具温度和注射时间在图3上几乎没什么波动,说明影响甚微。取图3中各折线的最低点:$A_2B_3C_3D_1E_4F_3$,即模具温度25 ℃,注射时间1.2 s,保压时间25 s,冷却时间7 s,熔体温度250 ℃和保压压力100%为最佳工艺参数组合。在表2的试验方案中并无此工艺组合的分析,所以在 Moldflow 中设置进行试验验证。试验结果如图4所示,制品在 *Y* 方向型腔内残余应力最大为25.64 MPa,比表2中最小值25.84 MPa还要小,试验结果验证有效,所选工艺参数组合为最佳组合。

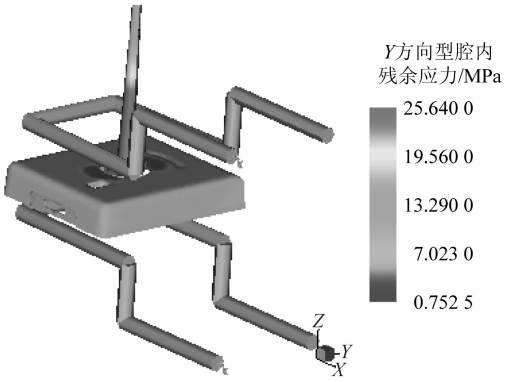

图4　*Y* 方向型腔残余应力

Figure 4　Residual stress in cavity of *Y* direction

3　结论

1)在模具温度、注射时间、保压时间、冷却时间、熔体温度和保压压力6个试验影响因素中,对 *Y* 方向型腔内残余应力的影响为:熔体温度>保压时间>保压压力>冷却时间>注射时间>模具温度,熔体温度为显著影响因素,注射时间和模具温度影响甚微。可针对试验指标结果进行某一注塑参数的精准优化,避免大量无序摸索。

2)通过正交试验,找到了 *Y* 方向型腔内残余应力最小的最佳工艺参数组合:模具温度25 ℃,注射时间1.2 s,保压时间25 s,冷却时间7 s,熔体温度250 ℃和

(下转第87页)