

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.06.025

基于正交试验法的电流线圈架塑件 工艺参数优化

傅建钢

(绍兴职业技术学院 机电工程学院, 浙江 绍兴 312000)

摘要:为改善塑件的成型质量,采用正交试验法,选择注射时间、熔体温度、保压压力、保压时间以及冷却时间等5个工艺参数作为控制因素。对各因素分别赋以4个水平,以塑件的翘曲量作为质量指标,建立正交试验表 $L_{16}(4^5)$ 。运用模拟流动分析软件,对不同工艺条件下的塑件成型过程进行模拟分析,得到各翘曲值。对塑件翘曲产生的原因进行分析,分析表明:保压时间和保压压力为影响塑件翘曲量最大的2个因素,通过改变这2个因素值可有效改善塑件的翘曲状况。

关键词:注塑成型;正交试验;工艺参数;翘曲

中图分类号:TQ320.66

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2014)06-0097-04

Optimization of Process Parameters for Plastic Parts of Current Coil Frame Based on Orthogonal Experiment Method

FU Jiangang

(Department of Mechanical & Electrical Engineering, Shaoxing Vocational & Technical College, Shaoxing, Zhejiang 312000, China)

Abstract: In order to improve the quality of plastic, five process parameters: injection time, melt temperature, packing pressure, packing time and cooling time were selected as control factors which were used in orthogonal experiment method. Four levels were given for each factor, warpage of plastic parts were adopted as quality indicators, and then the orthogonal table $L_{16}(4^5)$ was established. The simulation software of flow was adopted to analyze the plastic molding under different process conditions, and the values of warpage were obtained. The cause of warpage is analyzed, it shows that packing time and packing pressure are the two largest influence factors on plastic warpage, through changing the value of factors can effectively reduce the warpage of plastic parts.

Key words: injection molding; orthogonal experiment; process parameters; warpage

注塑成型是塑料成型加工的主要方法之一,该方法生产效率高,加工性强^[1]。计算机辅助工程(CAE)技术已逐渐被技术人员所接受,并用于模拟熔融塑料在模具型腔内的流动过程,借助于该项技术来预测塑件潜在的问题,能有效地提高试模的成功率,明显缩短模具生产周期,从而降低生产成本^[2-3]。翘曲变形缺陷是指注射成型得到的塑料件的形状相对于模具的型腔形状发生了明显的改变,这是一种较为常见的注塑件缺陷^[4]。翘曲变形在影响塑件的外观的同时,会严重影响塑件的力学性能,导致塑料件的报废,翘曲变形

的原因主要与模具的结构、塑料类型以及塑料成型工艺等有关^[5]。如何减小塑料件在注塑成型过程中产生的翘曲变形的机率成为研究者关注的一大课题。本研究采用正交试验法与模流分析法相结合,就成型工艺参数对翘曲量的影响进行分析研究,确定出较佳的工艺参数组合,实现降低翘曲量的目的。

1 模流分析

1.1 塑件有限元模型

本研究以一款电流线圈架塑件为例进行分析,其

收稿日期:2014-04-15;修回日期:2014-07-03

基金项目:浙江省教育厅科研项目资助(项目编号:Y201430415);浙江省教育厅课堂教学改革项目(kg2013795);绍兴市教育科学规划课题(SGJ14027);绍兴市精品课程“CAD图形设计”阶段性研究成果

作者简介:傅建钢(1983),男,浙江绍兴人,讲师,工学硕士,绍兴职业技术学院计算机辅助设计与制造专业负责人,主要研究方向为模具设计与制造。E-mail:fujiangang@sxvtc.com

二维和三维图如图 1 所示。塑件材料选用增强聚丙烯(0.6%)。根据塑件的二维零件图,由 UG NX 软件完成塑件的三维实体模型,该实体以 STL 格式导出。将 STL 格式模型文件导入 Moldflow 模流分析软件,对模型进行有限元网格的划分,得到的有限元模型如图 2 所示。

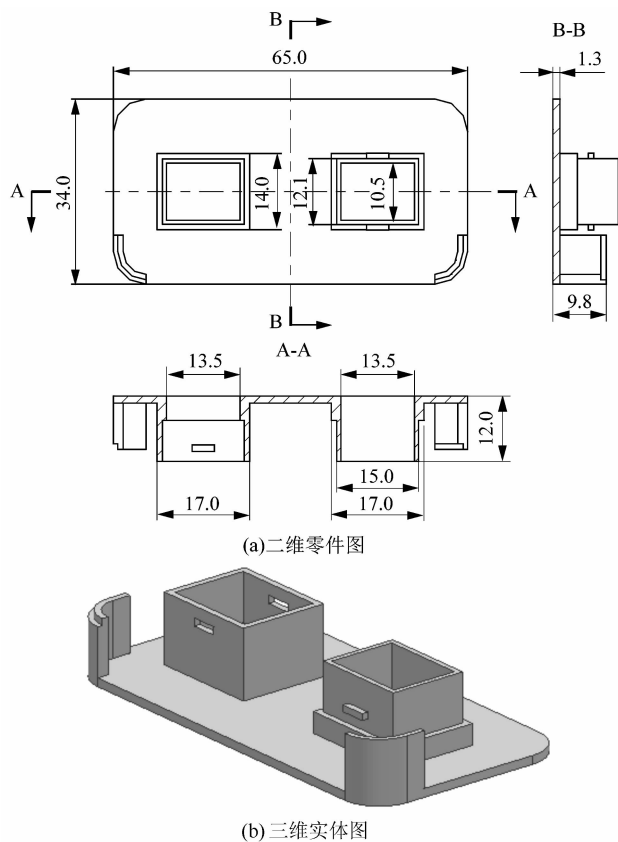


图 1 电流线圈架

Figure 1 Current coil frame

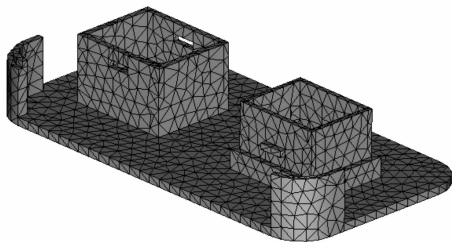


图 2 有限元模型

Figure 2 Finite element model

1.2 最佳浇口位置分析

Moldflow/MPI 系统中的最佳浇口位置分析模块,可以确定出浇口的最佳位置。该分析结果可以为进一步完整的模流分析提供一个参考浇口位置。在对塑件进行分析过程当中,采用该最佳浇口分析模块,初步确定出设置浇口的最佳区域。浇口位置分析结果如图 3 所示。

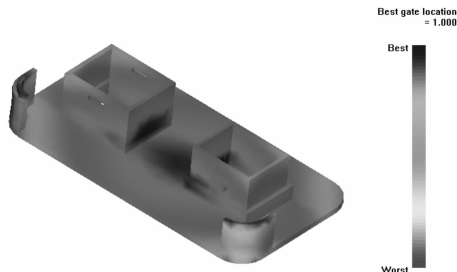


图 3 最佳浇口位置

Figure 3 Best gate location

图 3 中深色区域为最适合于设置浇口的位置,在该区域设置浇口可保证注塑过程熔体流动的平衡性。结合注塑模具设计的实际经验,可将浇口位置设置在塑料件中央对称区域,使流动到塑件各个角落的熔融塑料都有相同的流动长度,从而使型腔各处能够在同一时间内被充满。如果塑料流动不均匀,会出现塑料件的部分区域先完成填充的情况,使塑料件内部产生残余应力,造成塑料件不均匀地收缩和翘曲变形^[6]。

1.3 正交试验因素选择

正交试验设计方法能够以较少的试验次数推断出较为合理的工艺参数组合^[7]。在实际工程中,可利用正交试验法对塑料件的质量、性能和成本等进行优化。在塑件工艺参数选择中,可以使用该方法确定出较为合理的工艺参数组合,能有效提高产品的质量。

以注塑件的翘曲变形量作为控制指标,翘曲变形值越小,表明注塑件质量越好。结合实际经验,选择注射时间 A 、熔体温度 B 、保压压力 C 、保压时间 D 以及冷却时间 E 这 5 个工艺参数作为控制因素,5 个工艺参数赋以 4 个水平,即一个因素设置 4 个不同的值,具体见表 1。

表 1 工艺参数表

Table 1 Process parameter

水平	因数				
	注射时间 A/s	熔体温度 $B/^\circ C$	保压压力 $C/\%$	保压时间 D/s	冷却时间 E/s
1	0.5	240	50	0.4	8
2	0.9	250	70	2.0	14
3	1.3	260	90	4.5	20
4	1.7	270	110	7.0	26

2 正交试验结果与分析

2.1 塑件翘曲变形结果

依照 $L_{16}(4^5)$ 正交表安排试验顺序,正交试验表^[8]见表 2。以 Moldflow 分析软件作为试验工具,将各组参数值分别输入模拟分析软件之中,分别做 16 组模拟流动试验,得到试验指标 F ,即相应的翘曲值,各数据如表 2 所示。

表2 L 正交表与分析结果

Table 2 Orthogonal table and analysis results

试验号	因素					翘曲 F/mm	试验号	因素					翘曲 F/mm
	注射时间 A/s	熔体温度 $B/^\circ\text{C}$	保压压力 $C/\%$	保压时间 D/s	冷却时间 E/s			注射时间 A/s	熔体温度 $B/^\circ\text{C}$	保压压力 $C/\%$	保压时间 D/s	冷却时间 E/s	
1	1	1	1	1	1	0.352 1	9	3	1	3	4	2	0.168 7
2	1	2	2	2	2	0.343 9	10	3	2	4	3	1	0.161 3
3	1	3	3	3	3	0.196 8	11	3	3	1	2	4	0.328 9
4	1	4	4	4	4	0.123 6	12	3	4	2	1	3	0.330 0
5	2	1	2	3	4	0.214 1	13	4	1	4	2	3	0.292 3
6	2	2	1	4	3	0.269 5	14	4	2	3	1	4	0.343 8
7	2	3	4	1	2	0.336 4	15	4	3	2	4	1	0.167 5
8	2	4	3	2	1	0.329 8	16	4	4	1	3	2	0.218 6

2.2 塑件翘曲量影响因素分析

K_i 为第 i 个因素第 j 水平的目标函数值之和。 k_i 为目标函数均值, $k_i = K_i/4$, 即翘曲量的平均值。在正交试验中, 同一因素各个不同水平值下的试验结果均

值的最大值与最小值之差称为极差值, 记作 R 。 R 值越大, 则因素的水平发生改变时会导致结果发生较大的改变, 即该因素对结果具有较大的影响, 反之, 影响较小。

表3 翘曲量分析

Table 3 Warp analysis mm

因素	K_1	K_2	K_3	K_4	k_1	k_2	k_3	k_4	极差 R	排序
注射时间 A	1.016 4	1.149 8	0.988 9	1.022 2	0.254 1	0.287 4	0.247 2	0.255 5	0.040 2	3
熔体温度 B	1.027 2	1.118 5	1.029 6	1.002 0	0.256 8	0.279 6	0.257 4	0.250 5	0.029 1	4
保压压力 C	1.169 1	1.055 5	1.039 1	0.913 6	0.292 2	0.263 8	0.259 7	0.228 4	0.063 8	2
保压时间 D	1.362 3	1.294 9	0.790 8	0.729 3	0.340 5	0.323 7	0.197 7	0.182 3	0.158 2	1
冷却时间 E	1.010 7	1.067 6	1.088 6	1.010 4	0.252 6	0.266 9	0.272 1	0.252 6	0.019 5	5

从表3中可以看出, R 值最大的因素为保压时间 D , 即保压时间为塑件翘曲变形的主要影响因素。塑件的翘曲变形因保压时间的增加而得到改善, 这主要是因为塑件翘曲变形是由于收缩不均匀造成的。分析认为, 保压时间的增加对于改善翘曲变形是非常有利的。在实际生产中, 由于需要考虑生产效益, 对于保压时间的选择不宜过长, 可在产品允许的翘曲变形范围内选择保压时间。

根据表3数据, 制作出塑件翘曲量与各因素的关系见图4。由图4(a)可知, 塑件的翘曲量随注射时间的变化不呈单调变化。当注射时间为1.3 s时, 塑件产生的翘曲量达到最小值。从图4(b)可知, 塑件的翘曲量随熔体温度的变化不呈单调变化。当熔体温度在250 $^\circ\text{C}$ 时, 塑件产生的翘曲量达到最大值; 熔体温度达到270 $^\circ\text{C}$ 时, 塑件产生的翘曲量达到最小值。从图4(c)可知, 在一定的压力范围内, 塑件的翘曲量随保压压力的变化呈单调变化。当保压压力为注射压力的50%时, 塑件产生的翘曲量达到最大值; 在保压压力为注射压力的110%时, 塑件产生的翘曲量达到最小值。从图4(d)可知, 在一定的保压时间范围内, 塑件的翘曲量随保压时间的变化呈单调变化。当保压时间为0.4 s时, 塑件产生的翘曲量达到最大值; 在保压时间

为7 s时, 塑件产生的翘曲量达到最小值。从图4(e)可知, 塑件的翘曲量随冷却时间的变化呈现先增后减的态势。当冷却时间为26 s时, 塑件的翘曲量达到最小值。

2.3 试验验证

前面得到的最优的工艺参数组合为 $A3B4C4D4E4$, 该组合是理论上的最优方案。为验证该方案是否为最优方案, 本研究对电流线圈架塑件进行了该组参数下的模拟分析, 分析得到塑件翘曲变形量为0.108 0 mm。该翘曲变形量均小于前面各次试验得到的翘曲变形量, 由此可见, 该组参数使翘曲变形量显著减小, 优化效果非常明显。

3 结论

正交试验与有限元分析技术相结合, 研究了注射时间、熔体温度、保压时间、保压压力、冷却时间与翘曲量之间的关系。通过正交试验分析可知, 影响塑件翘曲变形的5个参数由大到小分别是: 保压时间、保压压力、注射时间、熔体温度和冷却时间。通过正交试验优化得到参数如下: 注射时间为1.3 s, 熔体温度为270 $^\circ\text{C}$, 保压压力为最大注射压力的110%, 保压时间为7 s, 冷却时间为26 s时, 塑件的翘曲变形值为不同参数组合下翘曲变形值的最小值, 优化效果较为明显。

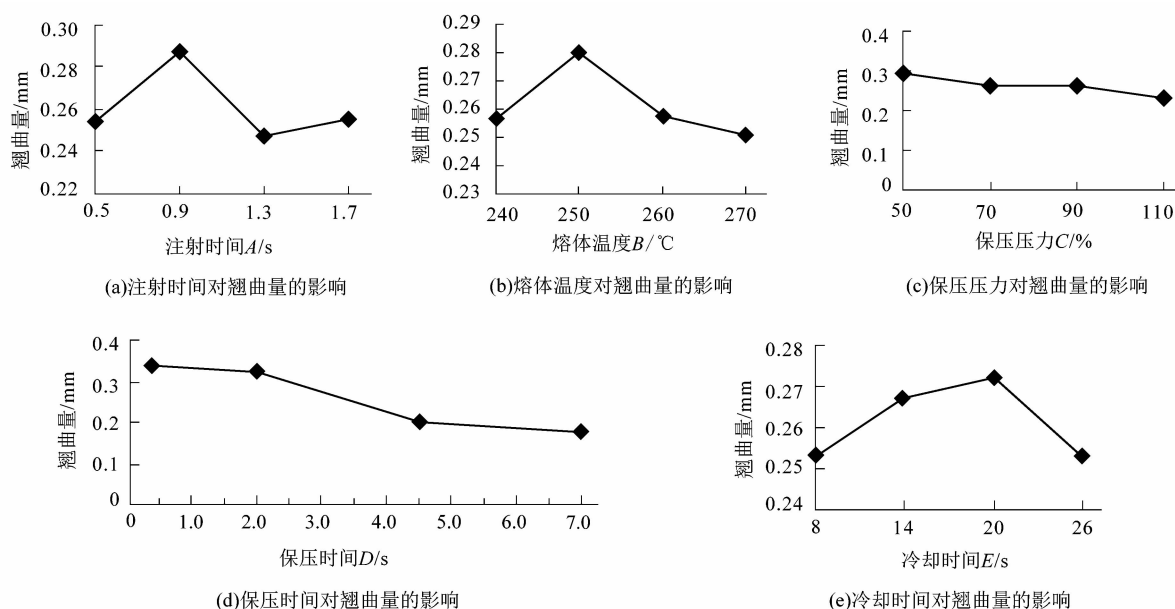


图 4 各因素对翘曲量的影响

Figure 4 Factors influence on warpage

参考文献:

- [1] 黄艳艳, 王晓枫. 基于 CAE 的挂钩注塑模分析[J]. 机械与电子, 2009(11):14-16.
- [2] 王志新, 贺敏, 曾宪文. 基于 CAE 技术对薄壁制件注射成型分析研究[J]. 汽车工艺与材料, 2003(4):28-30.
- [3] 贺华波, 李红林, 刘军, 等. Moldflow 在对讲机天线零件注塑成型中的应用[J]. 轻工机械, 2005, 23(1):29-31.
- [4] 赵建. 基于翘曲分析的注塑模工艺参数的优化[J]. 中国塑料,

2008, 22(11):61-65.

- [5] 蒋章雷, 孙文磊. 基于正交试验的注塑制件翘曲变形模拟分析[J]. 机械设计与制造, 2010(12):222-223.
- [6] 傅建钢, 傅晓锦. 注塑成型工艺参数对注塑件缩痕影响的研究[J]. 轻工机械, 2011, 29(1):1-3.
- [7] 刘文卿. 实验设计[M]. 北京:清华大学出版社, 2005.
- [8] 郑升伟, 金杰. 薄壁塑件成型工艺参数优化[J]. 模具工业, 2010, 36(5):12-15.

(上接第 96 页)

4) 环向双开孔圆柱壳, 由于环向孔桥薄膜应力较小, 弹性应力强度评定结果满足结构应力强度评定要求。

5) 采用极限载荷法进行应力强度评定, 在 $L \geq 1.5L_0$ 情况下, 轴向双开孔和环向双开孔圆柱壳均满足应力强度评定要求。

6) 按本文模型结构尺寸, 对于双开孔圆柱壳开孔间距的规定, 标准 GB150-2011 和 GB/T 9222-2008 比标准 ASME VIII-2 和 JB4732-1995 更趋保守。基于弹性应力法, 标准比本文研究结果更趋保守; 基于极限载荷法, 研究结果都能满足应力强度评定要求; 弹性应力分析法较极限载荷法更趋保守, 标准可对轴向和环向双开孔圆柱壳开孔间距分别作出限定。

参考文献:

- [1] 左春梅, 徐庆, 董金善. 有限元在双开孔应力分析中的应用[J]. 现代制造工程, 2008(2):97-98.
- [2] 李俊, 陈杰富, 袁继禹. 圆形筒体小间距大开孔结构的应力分布

[J]. 压力容器, 2009, 26(10):17-20.

- [3] 丁然, 郭彦书, 刘庆刚. 压力容器开孔间距对应力集中的影响[J]. 油气储运, 2012, 31(6):432-434.
- [4] 张小平, 贺小华. 圆柱壳双开孔—接管结构的应力分布研究[J]. 轻工机械, 2012, 30(1):22-26.
- [5] 全国压力容器标准化技术委员会. GB150-2011 钢制压力容器[S]. 北京:中国标准出版社, 2011.
- [6] 全国锅炉压力容器标准化委员会. GB/T 9222-2008 水管锅炉受压元件强度计算[S]. 北京:中国标准出版社, 2008.
- [7] 全国压力容器标准化委员会. JB4732-1995 钢制压力容器-分析设计标准[S]. 北京:中国标准出版社, 2005.
- [8] ASME. ASME VIII-2 锅炉及压力容器规范[S]. 北京:中国石油和石化设备工业协会 ASME 规范产品专业委员会(CACI), 2010.
- [9] LIU Pengfei, ZHENG Jinyang, MA Li, et al. Calculations of plastic collapse load of pressure vessel using FEA[J]. Journal of Zhejiang University Science, 2008, 9(7):900-906.
- [10] MUSCAT M, MACKENZIE D, HAMILTON R. A work criterion for plastic collapse[J]. International Journal of Pressure Vessel and Piping, 2003, 80(1):49-58.
- [11] SAVE M. Experimental verification of plastic limit analysis of torispherical and toriconical heads[J]. Pressure Vessels and Piping Design and Analysis: A Decade of Progress, 1972(1):382-416.