

注射成型工艺参数对注塑制品翘曲变形的影响研究

杨志强

王静波

(浙江师范大学交通学院, 金华 321019) (山东省广播电视报, 济南 250011)

摘要 采用 Taguchi 实验设计技术设计了 $L9(3^4)$ 实验矩阵进行实验, 运用标准变量分析技术分析模具温度、熔体温度、注射速率、保压压力等工艺参数对注塑制品翘曲变形的影响, 预测最小翘曲变形并优化工艺参数。研究表明, 所选择的工艺参数对 X 、 Y 、 Z 方向上的翘曲变形有不同程度的影响。通过优化工艺参数, 可使所需方向上的翘曲变形最小, 进而提高注塑制品的质量。

关键词 翘曲变形 工艺优化 Taguchi 实验设计技术

注塑制品的翘曲变形严重影响着制品的质量, 虽然无法完全消除翘曲变形, 但在注射成型过程中如能很好地控制成型工艺参数, 就可以有效地减小翘曲变形。而注射成型是一个复杂的过程, 塑料熔体在型腔中的流动行为很难直观表征出来。数值模拟技术^[1]可以辅助优化工艺, 但目前 CAE 技术仅仅通过反复验证 - 修改过程来进行工艺优化, 既浪费时间, 又得不到最优解。笔者结合 CAE 技术和 Taguchi 实验设计 (DOE) 技术^[2]设计 $L9$ 实验矩阵, 借助 CAE 技术对薄壳制品成型过程进行模拟研究, 采用标准变量分析技术分析模具温度、熔体温度、注射速率、保压压力等工艺参数对注塑制品翘曲变形的影响, 预测最小翘曲变形并优化工艺参数。

1 Taguchi DOE 技术

Taguchi DOE 技术是一种应用正交矩阵以执行最少的实验次数而获得足够实验信息的统计学工具。传统的方法是设置各个影响因子的水平组合, 进行真实的实验并研究实验结果。然而多数情况下真实实验难以进行且有些质量指标很难测量。笔者利用注射成型充填/后充填的流动模拟代替真实实验进行模拟实验。

Taguchi DOE 参数设计主要有两部分内容: 其一是产品实验设计, 利用正交技术确定各因子取值水平与质量性能之间的数量关系; 其二是对实验结果优选分析, 利用信噪比 (S/N) 衡量和确定各因子在不同水平情况下的产品质量水平, 从而确定优选方案。

笔者运用 CAE 分析与 DOE 技术相结合方法对手机上壳的工艺过程进行模拟分析, 通过研究模具温度、熔体温度、注射速率、保压压力等工艺参数对制品翘曲变形的影响, 从而提高制品的质量。故本实验用 CAE 模型程序分别进行了冷却分析、流动分

析、保压分析和翘曲分析。

为了能得到最小翘曲变形, 笔者采用 A 型信噪比函数来计算信噪比, 它主要适用于质量性能目标越小越好的场合, 其表达式为:

$$\frac{S}{N} = -10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (1)$$

式中: Y_i ——每次实验的翘曲变形值;

n ——每个方案实验的次数, 本实验中 $n=2$ 。

S/N 越大, 则表明翘曲变形越小。

2 实验部分

指定手机上壳收缩率最小为实验的质量指标。

(1) 所用材料为 Teijin Chemicals 公司生产的 PC/ABS 合金, 牌号为 Multilon TN-3812B。

(2) 实验用模型如图 1 所示。手机上壳厚度为 1.0 mm, 采用表面网格对模型进行划分, 有限元分析模型数据为: 面单元数为 13 960, 匹配率为 92.3%。经验证明, 当网格匹配率达到 90% 时可得可靠准确的分析结果。利用 Moldflow 分析获得最佳浇口位置在节点 N3687 处, 见图 1 所示。

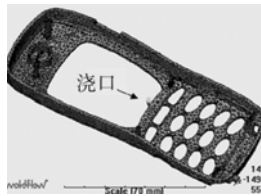


图 1 手机网格模型

(3) 确定有效的因子和水平, 选择基于 4 因子 3 水平的 $L9(3^4)$ 正交矩阵。相应的实验因子和水平见表 1。

3 结果与分析

3.1 翘曲变形分析

本实验主要采集 X 、 Y 、 Z 方向上的最大翘曲变

表 1 实验的水平及因子

因子	水平 1	水平 2	水平 3
模具温度(A) /℃	30	45	60
熔体温度(B) /℃	190	210	230
注射速率(C) /cm ³ ·s ⁻¹	6.5	12.5	18.5
保压压力(D) /MPa	49	56	63

形数据。表 2 给出了不同工艺组合和水平的实验结果及信噪比计算结果。根据表 2 绘制出不同工艺参数对 X、Y、Z 方向上的翘曲变形的影响,见图 3 ~图 5。

表 2 L9 正交实验矩阵和实验结果

因子				翘曲变形/mm			(S/N)/dB		
A	B	C	D	X	Y	Z	X	Y	Z
30	190	6.5	49	0.1295	17.69	0.2982	10.41	0.1352	17.37
30	210	12.5	56	0.2541	11.63	0.0972	21.12	0.1441	16.03
30	230	18.5	63	0.2312	13.72	0.0934	21.01	0.1412	17.92
45	190	12.5	63	0.2459	11.83	0.0992	18.93	0.1467	16.83
45	210	18.5	49	0.2817	10.83	0.0851	21.76	0.1444	16.71
45	230	6.5	56	0.2513	11.31	0.1197	18.26	0.1423	17.14
60	190	18.5	56	0.2631	11.42	0.0897	21.38	0.1432	17.01
60	210	6.5	63	0.2483	11.62	0.1451	16.92	0.1423	17.31
60	230	12.5	49	0.2812	11.21	0.1327	22.34	0.1402	15.45

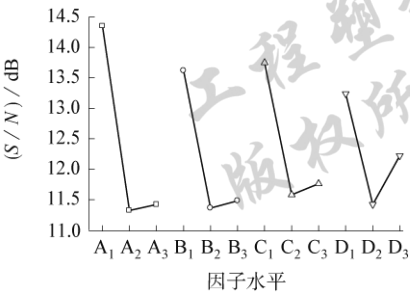


图 2 不同工艺参数对 X 方向翘曲的影响

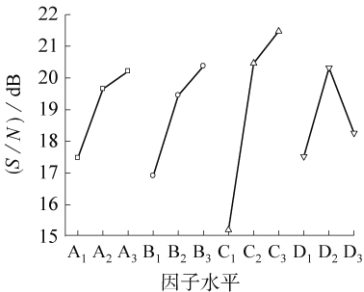


图 3 不同工艺参数对 Y 方向翘曲的影响

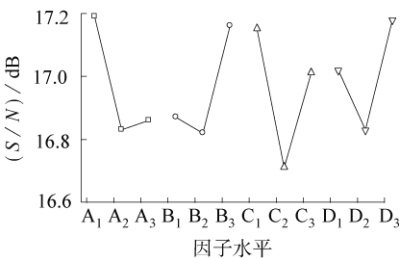


图 4 不同工艺参数对 Z 方向翘曲的影响

(1) X 方向的翘曲变形。从图 2 可以看出, A₁B₁C₁D₁ 组合(即模具温度 30℃, 熔体温度 190℃, 注射速率 6.5 cm³/s, 保压压力 49 MPa)在 X 方向上的信噪比最大。由于优化组合包括在实验中, 因此, 该工艺参数组合可使 X 方向上的翘曲变形最小。

(2) Y 方向的翘曲变形。从图 3 可以看出, A₃B₃C₃D₂ 组合(即模具温度 60℃, 熔体温度 230℃, 注射速率 18.5 cm³/s, 保压压力 56 MPa)在 Y 方向上的信噪比最大。由于该优化组合不包括在已有的实验中, 所以可以间接预测该优化工艺组合在 Y 方向上的翘曲。

$$\eta_{3B_3C_3D_2} = \eta_3 + \eta_3 + \eta_3 + \eta_2 - \eta_1 = 25.36(\text{dB}) \quad (2)$$

其中 $\eta_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \eta = 18.82(\text{dB})$

式中: $\eta_{3B_3C_3D_2}$ ——A₃B₃C₃D₂ 工艺组合的 S/N;
N——主实验的次数, 本实验中 N=9;
 η_3 ——表 2 中因子 A 在水平 3(模具温度 60℃)时 3 个 S/N 的平均值, 以下类推;

η_1 ——Y 方向 9 个主实验 S/N 的平均值。

将 $\eta_{3B_3C_3D_2}$ 代入公式(1), 可预测 Y 方向上的翘曲变形为 0.06 mm。为了验证预测结果, 运用优化的工艺参数进行模拟得出的翘曲变形为 0.081 mm, 比表 2 中的所有实验值都低, 可以看出, Y 方向上的翘曲得到了很好的改善。

(3) Z 方向的翘曲变形。从图 4 可以看出, A₁B₃C₁D₃ 组合(即模具温度 30℃, 熔体温度 230℃, 注射速率 6.5 cm³/s, 保压压力 63 MPa)在 Z 方向上的信噪比最大。由于优化的组合不包括在已有的实验中, 所以可以间接预测该优化工艺组合在 Z 方向上的翘曲。

$$\eta_{1B_3C_1D_3} = \eta_1 + \eta_3 + \eta_1 + \eta_3 - \eta_2 = 18.13(\text{dB}) \quad (3)$$

其中 $\eta_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \eta = 17.12(\text{dB})$

式中: $\eta_{1B_3C_1D_3}$ ——A₁B₃C₁D₃ 工艺组合的 S/N;
 η_1 ——表 2 中因子 A 在水平 1(模具温度 30℃)时 3 个 S/N 的平均值, 以下类推;

η_2 ——Z 方向 9 个主实验 S/N 的平均值。

预测得到 Z 方向上的翘曲变形为 0.1321 mm。为了验证预测结果, 运用优化的工艺参数进行模拟

得出的翘曲变形为 0.133 4 mm, 比表 2 中所有的实验值都低, 可以看出, Z 方向上的翘曲得到了很好的改善。

3.2 工艺参数优化分析

采用标准变量分析技术 ANOVA^[3] 分析各个工艺参数(模具温度、熔体温度、注射速率、保压压力)对制品不同方向上翘曲变形的影响。表 3 列出相应的计算结果, 其中影响因子为每个变量的平均方差与总的平均方差的比值, 它的值越大说明它对翘曲变形的影响越剧烈。

表 3 因子对 X、Y、Z 方向翘曲的影响

因子	X - 方差	因子重要性 / %	Y - 方差	因子重要性 / %	Z - 方差	因子重要性 / %
A	4.79	40.38	4.57	13.39	0.06	30
B	2.87	25.07	5.73	16.94	0.04	20
C	2.63	21.12	21.61	63.61	0.07	35
D	1.53	13.43	2.42	6.06	0.03	15

从表 3 可以看出, 在所选择的工艺参数中, 对制品 X 方向上翘曲变形的影响程度依次为模具温度 ($F = 40.38\%$)、熔体温度 ($F = 25.07\%$)、注射速率 ($F = 21.12\%$)、保压压力 ($F = 13.43\%$)。从而可以知道, 对 X 方向上翘曲变形影响最大的是模具温度和熔体温度。

从表 3 可以看出, 在所选择的工艺参数中, 对 Y 方向上翘曲变形的影响程度依次为注射速率 ($F = 63.61\%$)、熔体温度 ($F = 16.94\%$)、模具温度 ($F = 13.39\%$)、保压压力 ($F = 6.06\%$)。从而可以知道, 对 Y 方向上翘曲变形影响最大的是注射速率和熔

体温度。
从表 3 可以看出, 在所选择的工艺参数中, 对 Z 方向上翘曲变形的影响程度依次为注射速率 ($F = 35\%$)、模具温度 ($F = 30\%$)、熔体温度 ($F = 20\%$)、保压压力 ($F = 15\%$)。从而可以知道, 对 Z 方向上翘曲变形影响最大的是注射速率和模具温度。

4 结论

- (1) CAE 和 Taguchi DOE 技术的结合是研究工艺参数对制品翘曲变形的影响并优化工艺参数的有效工具。
- (2) 影响 X 方向上翘曲变形程度的工艺参数依次为模具温度、熔体温度、注射速率、保压压力; 影响 Y 方向上翘曲变形程度的工艺参数依次为注射速率、熔体温度、模具温度、保压压力; 影响 Z 方向上翘曲变形程度的工艺参数依次为注射速率、模具温度、熔体温度、保压压力。
- (3) 工艺参数对 X、Y、Z 方向上的翘曲变形有不同程度的影响。通过适当调整工艺参数, 可使制品在需要方向上的翘曲变形最小, 为注射成型工艺参数优化提供了依据。

参考文献

[1] 单岩. Moldflow 模具分析技术基础 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

[2] Peace G S. Taguchi methods: A hands-on approach [M]. New York: Addison-Wesley, 1993.

[3] Chiang H H, Hieber C A, Wang K K. A unified simulation of the filling and post-filling stages in injection molding. part I: fomulation [J]. Polymer Engineering and Science, 1991, 31(2): 116 - 121.

THE INFLUENCE OF INJECTION PROCESSING PARAMETER ON THE WARP VARIATION OF THE INJECTION MOULDED PARTS

Yang Zhiqiang

(College of Communications, Zhejiang Normal University, Jinhua 321019, China)

Wang Jingbo

(Shandong Broadcast & TV Newspaper, Jinan 250011, China)

ABSTRACT The L9(3⁴) experimental matrix was designed and tested by using Taguchi DOE(design of experiment) technique, the effects of factors such as mould temperature, melt temperature, rate of injection and holding pressure, etc. on the warp of the thin-wall plastic was analysed by using standard analysis of variance(AVOVA) . The minimum warp variation was predicted and the processing parameters were optimized. The research results showed that the selected processing parameters had certain extend influence on the warp variation in X, Y and Z axis. The warp variation could be controlled to be the minimum by optimizing the processing parameters, as a result, the quality of the plastic production was improved.

KEYWORDS warp, process optimum, Taguchi method

索尼开发新型植物塑料 IC 卡

索尼公司最近公布了该公司最新开发的用植物基塑料制作的非接触 IC 卡。索尼公司是经过调整材料配合比和制

作方法, 并通过广泛的试验后, 才将植物塑料应用于卡片制作上。这种用植物塑料制造的卡片与普通塑料卡片在功能上没有任何差别, 但可以全降解。
(亚塑)