

基于 CAE 和 DOE 技术的注射成型工艺优化

黄 松 王喜顺

(华南理工大学机械与汽车工程学院,广州 510640)

摘要 以打印机上盖为例,以体积收缩率、翘曲量和沉降斑指数为考察指标,结合 CAE 和 DOE 技术研究了模具温度、熔体温度、注射时间、保压压力和保压时间五个工艺参数对考察指标的影响,用 DOE 软件回归拟合得到体积收缩率、翘曲和沉降斑指数的预测模型,并运用该模型求解最佳的工艺参数,通过试验验证了该方法的可行性。

关键词 注射成型 CAE DOE 工艺参数优化

随着塑料工业的飞速发展,许多企业使用 CAE 技术对注射成型过程进行模拟分析并预测潜在的问题,以提高一次试模率,达到降低生产成本、缩短生产周期的目的。成型工艺参数的优化设置在一定范围内能克服成型缺陷,提高制品质量。但影响制品质量的工艺参数比较多,而且各参数之间存在非线性和强耦合特性,设计师往往需要花费大量的时间进行 CAE 模拟才能获得合适的参数组合。为了获得最佳的工艺参数组合,众多学者对此进行了研究, G. H. Choi 等^[1]应用 ANN 技术建立工艺参数和制品质量指标之间的神经网络关系模型,并采用自适应优化算法优化工艺参数。郑晓培等^[2]结合 CAE 和 Taguchi 技术研究了工艺参数对(丙烯晴/丁二烯/苯乙烯)共聚物、高密度聚乙烯和聚丙烯注塑制品沉降斑的影响,并对工艺参数进行了优化。H. Oktem 等^[3]基于田口试验方法、信噪比及均方差分析方法,利用三水平的 L27 和 L9 等正交试验表,以最大翘曲量和最大体积收缩率为目标,对薄壳塑料制品的注射成型参数进行了优化设计。钟浩东等^[4]提出一个利用注射成型软件 Moldflow 与遗传算法结合对熔接痕长度和位置进行优化的方法,经过多代搜索,最终获得对应于熔接痕长度与位置最佳的注射时间、熔体温度、模具温度、浇口位置等工艺参数。

DOE 技术是一种研究试验数据的获得和科学地分析处理试验数据与结果的方法。回归分析是其常用的数据分析方法,回归分析的主要内容为:①从一组数据出发确定某些变量之间的定量关系式,即建立数学模型并估计其中的未知参数。估计参数的常用方法是最小二乘法。②对这些关系式的可信程度进行检验。③在许多自变量共同影响着一个因变量的关系中,判断哪个(或哪些)自变量的影响是显著的,哪些自变量的影响是不显著的,将影响显著的自变量选入模型中,而剔除影响不显著的变量,通常

用逐步回归、向前回归和向后回归等方法。④利用所求的关系式对某一生产过程进行预测或控制^[5]。笔者使用常用的统计软件 Expert-Design 进行统计回归分析,在回归分析中,每个变量的作用用 F 检验来评价。在给定的置信水平下(一般是 95%)当 F 检验不显著时,表明该回归系数不显著,可忽略该项对方程的影响。修改回归模式,将其归入误差项,软件的分析结果表现为 P 值,该值越小表示该回归系数越显著。

笔者在利用 Moldflow 软件对塑料熔体的充模过程进行模拟仿真的基础上,采用正交试验和统计相结合的方法分析了模具温度、熔体温度、注射时间、保压时间、保压压力对制品翘曲、体积收缩率和沉降斑的影响规律,并建立相关的参数模型,为工程应用提供参考。

1 制品建模与前处理

以一款打印机上盖为例,其有限元网格模型如图 1 所示。制品尺寸为 250 mm × 118 mm × 36 mm,主体壁厚 3.2 mm。修改后的网格单元数为 8 956,匹配率为 90.8%,符合 MPI 分析要求。材料选择美国 Dow Chemical 公司的聚碳酸酯(PC),牌号为 Calibre 603-3。首先用 MPI 的 Best Location 分析模块进行最佳浇口位置分析,得到如图 2 所示的结果。根据分析的最佳浇口位置,将浇口设置在制品的中间处,冷却水管和流道设置如图 3 所示,然后选择 cool + flow + warp 分析模块,进行模拟试验。

2 试验设计及模拟结果

考察熔体温度(A)、模具温度(B)、注射时间(C)、保压时间(D)、保压压力(E)对体积收缩率 R1、翘曲量 R2 和沉降斑指数 R3 的影响。采用五因素四水平正交试验矩阵 L16(4⁵) 在计算机上进行 16



图 1 网格模型

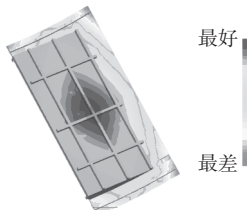


图 2 最佳的浇口位置

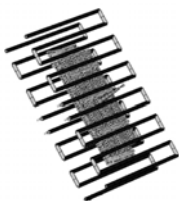


图 3 浇口和流道设置

次模拟试验,具体参数设置如表 1 所示,正交试验设置及结果如表 2 所示。

表 1 因素和水平设置

因 素	水 平			
	1	2	3	4
A /℃	70	80	90	100
B /℃	285	295	305	315
C /s	1.8	2.3	2.8	3.3
D /s	8	13	18	23
E /%	65	75	85	95

3 显著性分析

表 3 示出工艺参数对体积收缩率的影响显著性分析。由表 3 可以看出,整体预测的 Prob > F 值小于 0.0001,即代表整体预测的可信度高。在所研究的工艺范围内各参数对体积收缩率均有较大的影响,其中保压时间、模具温度以及模具温度与保压时间之间的交互作用对体积收缩率的影响最为显著。因此对于降低收缩率的最有效的方法就是降低模具温度、延长保压时间。

表 4 示出工艺参数对翘曲量的影响显著性分析。由表 4 可以看出,整体预测的可信度较高,不考虑参数之间的交互作用,工艺参数对翘曲的影响顺序为熔体温度 > 保压时间 > 保压压力 > 注射时间 > 模具温度。熔体温度过高,在成型固化时的温度降较大,制品在急冷过程中会残留大量内应力而导致

表 2 正交试验设置及结果

编号	因 素					R1 /%	R2 /mm	R3 /%
	A	B	C	D	E			
a	1	1	1	1	1	11.12	0.9995	4.286
b	1	2	2	2	2	11.54	0.9200	3.384
c	1	3	3	3	3	11.84	0.8421	2.527
d	1	4	4	4	4	12.11	0.7844	1.951
e	2	1	2	3	4	11.03	0.7486	1.514
f	2	2	1	4	3	11.64	0.8806	1.935
g	2	3	4	1	2	11.66	0.8690	5.004
h	2	4	3	2	1	12.28	0.9733	3.907
i	3	1	3	4	2	10.95	0.8796	1.918
j	3	2	4	3	1	11.27	0.9387	2.380
k	3	3	1	2	4	12.14	0.8473	3.705
l	3	4	2	1	3	12.50	0.8635	5.497
m	4	1	4	2	3	10.92	0.7879	3.026
n	4	2	3	1	4	11.40	0.7401	4.388
o	4	3	2	4	1	11.80	0.9838	2.660
p	4	4	1	3	2	12.62	0.9871	3.059

表 3 工艺参数对体积收缩率的影响显著性分析

项 目	平方和	F 值	P 值	显著性
整体预测可信度	4.43	72.57	<0.0001	***
A	0.52	77.12	0.0001	***
B	0.20	29.14	0.0017	**
C	0.28	40.97	0.0007	***
D	0.78	115.01	<0.0001	***
E	0.31	46.07	0.0005	***
A - B	0.17	75.25	0.0023	**
A - C	0.29	43.26	0.0006	***
A - D	0.80	118.06	<0.0001	***
A - E	0.36	52.88	0.0003	***

注:*** 表示显著性很强,** 表示显著性较强,* 表示显著性较弱;A - B、A - C、A - D、A - E 分别表示不同因素之间的交互作用,下同。

表 4 工艺参数对翘曲量的影响显著性分析

项 目	平方和	F 值	P 值	显著性
整体预测可信度	0.11	218.72	<0.0001	***
A	6.27 ×10 ⁻⁴	0.05	0.8268	*
B	5.29 ×10 ⁻⁶	35.87	0.0010	***
C	1.95 ×10 ⁻³	0.097	0.7659	*
D	8.96 ×10 ⁻⁴	16.44	0.0067	**
E	2.85 ×10 ⁻⁶	11.51	0.0146	**
A - D	7.39 ×10 ⁻⁴	13.53	0.0104	**
A - E	1.28 ×10 ⁻³	7.67	0.0325	**
B - C	1.90 ×10 ⁻⁴	23.47	0.0029	**
B - E	3.27 ×10 ⁻⁴	3.49	0.1109	*

出现翘曲,对此,可适当降低熔体温度进行改善。适当延长保压时间,型腔内的熔体被压实,可以减少体积收缩率,从而减小翘曲量。

表 5 示出工艺参数对沉降斑指数的影响显著性分析。从表 5 可以看出,整体预测的可信度较高,在所研究的工艺范围内,保压时间对沉降斑指数的影

响最为显著,注射时间对沉降斑有较强的影响,而模具温度、熔体温度和保压压力对沉降斑指数的影响较弱。为了降低制品的沉降斑指数需要降低模具温度和熔体温度、增大注射时间、延长保压时间,对于该打印机上盖,降低沉降斑指数最有效的方法是延长保压时间。

表 5 工艺参数对沉降斑指数的影响显著性分析

项 目	平方和	F 值	P 值	显著性
整体预测可信度	19.38	14.53	0.0010	***
A	0.21	1.22	0.3056	*
B	0.55	3.24	0.1148	*
C	1.07	6.26	0.0409	**
D	5.20	30.45	0.0009	***
E	0.11	0.64	0.4507	*
B-C	0.90	5.26	0.0556	**
B-E	0.91	5.35	0.0539	**
C-E	1.22	7.18	0.0316	**

4 模型回归与验证

利用DOE技术对正交试验的数据进行回归分析,可以得到打印机上盖体积收缩率R1、翘曲量R2和沉降斑指数R3的预测模型如式(1)、(2)、(3)所示。

R1 = - 171.7135 + 2.1368A + 0.4158B + 7.1415C + 0.7819D + 0.3522E - 4.6425 × 10⁻³ A · B - 0.09285A · C - 9.76 × 10⁻³ A · D - 4.43 × 10⁻³ A · E (1)

R2 = 0.4982 + 0.01051A + 3.7372B + 0.4512C + 0.02292D - 8.8855 × 10⁻³ E - 2.5715 × 10⁻⁴ A · D - 8.7436A · E - 1.6475B · C (2)

R3 = 116.7261 + 0.01106A - 0.3292B - 21.8163C - 0.1357D - 1.0943E + 0.05439B · C + 3.0448B · E (3)

为了验证该预测模型的准确性,计算出该模型16次试验的预测值,并与试验值进行对比,如图4所示。由图4可知,预测值与试验值都能够很好地吻合,说明运用该模型预测各工艺参数与考察目标之间的关系具有可行性。

5 最佳工艺参数预测及验证

利用回归模型可以求解出最佳的工艺参数范围,但同时使三个指标降到最低不太现实,可用优先因子来表示目标的重要性程度。优先因子越大,则可认为目标越重要。笔者根据制品的质量要求,给予翘曲量的优先因子为4,体积收缩率的优先因子为3,沉降斑指数的优先因子为2。因三个目标均具有望小特性,限制条件如表6所示。

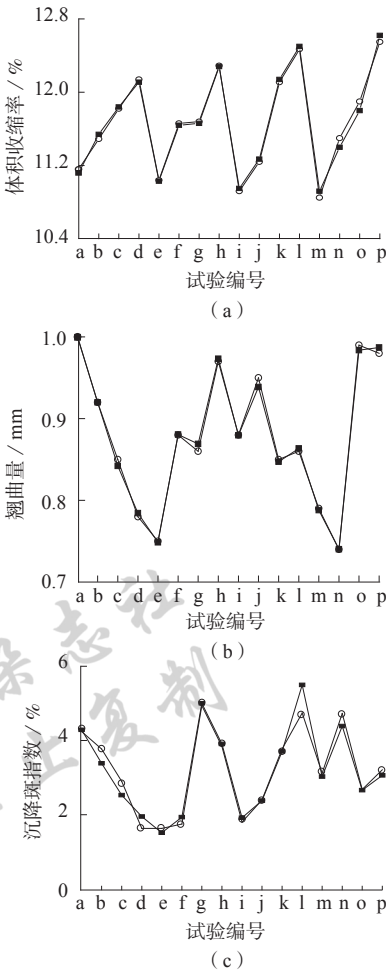
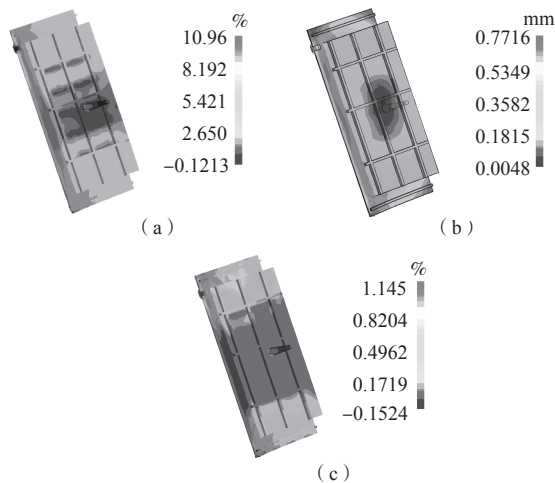


图 4 模型预测值与试验值的比较

表 6 目标优化的限制条件

项 目	目标	下限	上限	优先因子
模具温度	范围值	70	100	
熔体温度	范围值	285	315	
注射时间	范围值	1.8	3.3	
保压时间	范围值	8	23	
保压压力	范围值	65	95	
体积收缩率	望小		12.62	3
翘曲量	望小		0.9995	4
沉降斑指数	望小		5.497	2

表6中模具温度、熔体温度、注射时间、保压时间和保压压力是自变量,体积收缩率、翘曲量和沉降斑指数是优化目标,通过计算得到最佳的工艺参数为模具温度100℃、熔体温度286℃、注射时间3.3s、保压时间23s、保压压力95%。通过试验验证得到如图5的结果。从图5可以看出,采用优化后的工艺参数,体积收缩率、翘曲量和沉降斑指数分别为10.96%、0.7116mm、1.145%。其中,最佳工艺下的翘曲量和沉降斑指数比表2的正交试验结果最低



a—体积收缩率; b—翘曲量; c—沉降斑指数

图 5 工艺参数优化后的各指标

值还低, 体积收缩率则与最低值相差不大, 可见采用 DOE 技术进行数据分析能够有效获得使制品综合性能最好的注塑工艺。

6 结论

(1) 对于打印机上盖, 模具温度和保压时间对体积收缩率的影响最大; 熔体温度对翘曲量的影响

程度最大; 保压时间对沉降斑指数的影响程度最大。为了降低相应的缺陷, 应当首先考虑调整显著性最大的工艺参数。

(2) 在研究的工艺参数范围内, 当模具温度为 100℃、熔体温度为 286℃、注射时间为 3.3 s、保压时间为 23 s、保压压力为 95% 时, 能使体积收缩率、翘曲和沉降斑降三个考察指标的综合性能最好。

参考文献

[1] Choi G H, Lee K D, Chang N, et al. Optimization of process parameters of injection molding with neural network application in a process simulation environment[J]. Annals of the CIRP, 1994, 43 (1): 449 - 452.

[2] 郑晓培, 路书芬, 王丽霞, 等. 工艺参数对注塑制品沉降斑的影响分析及优化[J]. 工程塑料应用, 2006, 34(4): 32 - 35.

[3] Oktem H, Erzurumlu T, Uzman I. Application of taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part[J]. Material and Design, 2007, 28: 1271 - 1278.

[4] 钟浩东, 邓益民. 基于遗传算法的注塑成型熔接痕长度和位置优化[J]. 塑料工业, 2006, 34(11): 27 - 32.

[5] 周纪蓓. 实用回归分析方法[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.

PARAMETER OPTIMIZATION OF INJECTION MOLDING PROCESSING BASED ON CAE AND DOE TECHNOLOGY

Huang Song, Wang Xishun

(School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

ABSTRACT Taking printer top cover as an example and volume shrinkage rate, warpage value and sink marks index as investigation indicators, effects of injection molding process parameters including mold temperature, melt temperature, injection time, packing time and packing pressure on the indicators were studied by combining CAE and DOE techniques. The forecasting models of volume shrinkage rate, warpage value and sink marks index were gained by the regression of DOE software and optimal process parameters were solved by using the forecasting models simulation experiments. The feasibility of the method was validated by testing.

KEYWORDS injection molding, CAE, DOE, process parameter optimization

欢迎查询有关广告

对于在我刊刊登的所有广告, 如读者需要查询更详细的资料或了解情况, 请填好《读者查询广告资料服务卡》后寄回或来函。本杂志社将为您提供或转请有关单位提供资料, 以满足您的要求。如需购买任何广告单位的材料、设备、仪器及配件等产品, 我社将帮助您联系, 以保证产品质量, 争取优惠价格。欢迎各单位在我刊刊登广告。刊登办法函索即寄。

《工程塑料应用》读者查询广告资料服务卡

No _____

读者姓名 _____ 单位 _____ 邮政编码 _____

通讯地址 _____ 电话 _____ E-mail: _____

欲获得《工程塑料应用》 _____ 年第 _____ 期第 _____ 页 _____

广告中有关 _____ 的详细资料。

如空位不够, 请另附纸。填好后请寄回。

山东省济南市 108 信箱杂志社

邮政编码: 250031