

基于 CAE 与正交试验的多指标注塑成型工艺参数优化

陈 燕 蔡伟亮 蔡一蓝

(华南农业大学工程学院, 广州 510642)

摘要 以一次性叉塑料件为例,运用 CAE 软件 Moldflow 采用正交试验方法进行仿真模拟多指标试验。研究了注射温度、模具温度、注塑压力和注射时间等不同成型工艺参数对各项试验指标的影响,通过对试验结果运用多指标综合加权评分法分析,在试验范围内获得最佳成型工艺参数组合。

关键词 注射成型 多指标 工艺参数优化 CAE 正交试验

注射成型是塑料件应用较广的一种成型方法,注射成型模具约占整个塑料模具的 90%^[1]。在注射成型中,成型工艺条件的选择和控制是保证成型顺利进行和塑料件质量的关键因素,同时其对生产效率 and 制造成本都有很大的影响。

为了确定成型工艺参数,传统的方法是根据经验反复试模、不断调整,既费时且费用高,同时受经验的局限性,难以确定最优的工艺参数。运用 CAE 技术,在计算机上模拟注射成型过程,预测塑料熔体的填充、保压和冷却情况,以及塑料件的缩痕、熔接痕和翘曲变形等缺陷情况^[2],可以得到较优的成型工艺参数配置。在仿真试验中,由于影响塑料件注射成型综合性能的工艺因素有很多,并且每个工艺因素又有多个水平,所有的试验组合也非常多,因而采用正交试验设计法可减少试验次数,缩短试验周期,迅速找到优化方案^[3]。

目前,已有众多研究者采用 CAE 技术优化注射成型工艺参数^[4-6],但大多采用单指标试验,其优化结果难以满足塑料件综合性能的要求。笔者以一次性叉塑料件为例,运用 CAE 软件 Moldflow 采用正交试验方法进行仿真模拟多指标试验,考察不同成型工艺参数对塑料件质量、生产效率和制造成本等的影响,通过对试验结果运用多指标综合加权评分法分析,得到合适的工艺参数组合。

1 工艺参数优化试验设计

1.1 模拟试验方法

运用 Moldflow 软件进行注射成型过程仿真模拟试验,首先建立塑料件几何模型,并对其网格划分处理,接着设置浇口位置及数量、创建浇道和冷却管道建立浇注模型,设定注射成型工艺参数和分析参数,最后对试验结果进行分析计算。

笔者试验用的模型为一次性叉塑料件,材料为聚苯乙烯 (PS)。采用 Pro/E 创建几何模型,导入

Moldflow 软件进行网格划分处理,根据软件分析,一次性叉最佳浇口位置在中部,如图 1 所示。综合考虑该塑料件的精度、尺寸大小和生产批量,注塑模采用一模四腔平衡式 H 型排列,如图 2 所示。



图 1 浇口位置分析结果



图 2 型腔布置

1.2 正交试验指标

一次性叉塑料件主要成型缺陷是翘曲变形,残余应力是主要影响因素之一,而气泡和熔接痕则影响其外观。成型时塑料件的最高温度影响电能消耗,冷却时间不但影响塑料件质量且影响成型周期,充填时间也影响成型周期,而成型周期直接影响生产效率。基于此,笔者综合考虑塑料件成型质量、生产效率和制造成本等几方面因素,将残余应力、最高温度、充填时间和冻结时间作为正交试验的指标,通过仿真模拟试验,考察成型工艺参数对试验指标的影响。

1.3 正交试验因素及水平

塑料注射成型过程中,主要的工艺条件是影响

塑化流动和冷却的温度、压力和相应的各个作用时间。笔者以注射温度、模具温度、注塑压力和注射时间 4 个成型工艺参数作为正交试验因素,分别用 A 、 B 、 C 、 D 表示。假设各因素之间不存在交互作用,每个因素设置 3 个水平,选用 $L_9(3^4)$ 正交表进行试验设计。正交试验的因素水平根据 Moldflow 软件系统并结合文献[1]的成型工艺参数推荐的取值范围内选取,选取的因素水平见表 1。

表 1 正交试验的因素及水平

因素	水平 1	水平 2	水平 3
$A/^\circ\text{C}$	200	225	250
$B/^\circ\text{C}$	40	55	70
C/MPa	60	80	100
D/s	1	2	3

表 2 正交试验结果及综合加权评分

试验号	因素				试验指标				综合加权评分 Y^*
	$A/^\circ\text{C}$	$B/^\circ\text{C}$	C/MPa	D/s	残余应力/MPa	最高温度/ $^\circ\text{C}$	充填时间/s	冻结时间/s	
1	1	1	1	1	35.64	110.7	1.051	31.25	48.31
2	1	2	2	2	34.38	107.0	2.109	31.26	55.92
3	1	3	3	3	32.72	103.1	3.173	31.21	70.00
4	2	1	2	3	33.73	114.1	3.172	34.38	47.01
5	2	2	3	1	35.22	123.2	1.047	34.51	47.42
6	2	3	1	2	35.83	118.8	2.104	34.49	25.42
7	3	1	3	2	35.48	113.7	2.102	37.18	34.21
8	3	2	2	3	35.42	125.3	3.168	37.25	13.00
9	3	3	1	1	35.64	135.6	1.046	37.46	33.05

2.1 各项试验指标的权重

试验指标权重值用 W_j 表示,其中 j 表示第 j 种试验指标,设各项试验指标权重值之和等于 1。权重设置时须正确分析各试验指标对塑料件质量、生产效率和制造成本等方面的影响重要程度,较重要的试验指标,应给予较大值。

残余应力是导致塑料件变形的因素之一,因此,从塑料件质量考虑设置其权重为 0.5;成型时塑料件的最高温度主要受注塑机料筒温度影响,温度越高消耗的电能越多,从控制成本出发设置其权重为 0.2;充填时间影响成型周期从而影响生产效率,但从表 2 可知,充填时间最大差异为 2.127 s,对成型周期影响较小,在保证成型质量前提下,设置其权重为 0.05;塑料件的冻结时间越长,成型周期越长,从整个成型周期和生产效率考虑该项权重设为 0.25。

由于 9 组正交模拟试验中均没有发现熔接痕产生,且分析该塑料件浇口位置设置可知,塑料熔体充型时没有交汇,因此不对该试验指标进行分析。

2.2 各次试验的综合加权评分值

首先对各试验号的各项试验指标的数值进行比

2 结果与分析

根据正交表设计共进行 9 次 CAE 模拟试验,得到 9 组成型工艺参数对残余应力、最高温度、充填时间和冻结时间等各项试验指标的影响结果。对试验结果采用综合加权评分法求取多指标下的最佳工艺参数组合,正交试验组合方案及试验结果如表 2 所示。

综合加权评分法是把多指标的情况化为一个指标,用每次试验的得分(即各项指标得分的总和)来代表这次试验的结果,然后进行统计分析。各项指标的评分值分别按其重要程度,相应地乘以适当的系数作为分数,因此,每次试验所得分数为综合加权评分值。

较评分,分数用 $Y(i, j)$ 表示,其中 i 表示第 i 试验号。按 100 分制计算,把试验指标的最大值 $A_{j\max}$ 作 100 分,最低值 $A_{j\min}$ 作 0 分,各项试验指标均以最大值作为 100 点按比例计算出各值的分数。根据塑料件成型质量、生产效率和制造成本要求,各试验指标数值越小越好, $Y(i, j)$ 计算公式如式(1)所示。

$$Y(i, j) = 100(A_{j\max} - A_j) / (A_{j\max} - A_{j\min}) \quad (1)$$

式中: A_j ——试验指标数值。

由式(1)所得各项试验指标的分数值分别乘以其权重值,可得到各试验指标的加权评分值。将各项试验指标的加权评分相加即为每次试验的综合加权评分值,用 Y_i^* 表示,其值越高表示采用该试验号成型工艺参数所得塑料件的综合性能越好,计算结果见表 2,计算公式如式(2)所示。

$$Y_i^* = \sum_{j=1}^4 Y(i, j) \cdot W_j \quad (2)$$

由表 2 可知,9 组试验中第 3 号的综合加权评分值最高,其分值为 70.00,工艺参数组合为 A1B3C3D3,该组试验除充填时间指标外,其余试验指标观察值在 9 组试验中均为最低值。为得到多指

标下的最佳工艺参数组合, 还需对各次试验的综合加权评分值进行统计分析。

2.3 综合加权评分值统计分析

利用表 2 中各次试验的综合加权评分值, 可得到各因素在不同水平下的综合加权评分值的均值, 均值越高越好, 结果见表 3。此外, 不同工艺参数对各试验指标的影响程度不同, 通过表 3 的极差 R (各因素不同水平下的综合加权评分均值的最大值和最小值之差) 分析, 可以确定工艺参数对各试验指标影响的重要程度。

表 3 工艺参数对综合加权评分值的影响

均 值	因 素			
	A	B	C	D
K_1	58.08	43.17	35.59	42.93
K_2	39.95	38.78	38.64	38.51
K_3	26.76	42.82	50.54	43.34
R	31.32	4.39	11.90	4.82

表 3 中 $K_n = \frac{1}{3} \sum_{m=1}^3 S_{nm}$, S_{nm} 是指某个因素第 n 水平的综合加权评分值, 共 3 个。 K_n 表示某个因素第 n 水平的综合加权评分值的均值。

根据表 3 的计算结果可知, 各因素对指标综合评分影响的主次来看, 以 A 因素(注射温度)影响最大, C 因素(注塑压力)次之, 模具温度和注射时间影响较少; 从单个试验因素来看, 最佳的工艺参数组合为 $A1B1C3D3$, 即注射温度 200°C 、模具温度 40°C 、注塑压力 100 MPa 、注射时间 3 s 。由表 2 可知, 第 3 号试验的综合加权评分值最高, 它的工艺参数组合为 $A1B3C3D3$ 。因此, 从两方面综合比较均以 $A1C3D3$ 最佳, 差异只在 B 因素(模具温度)。

为了验证优化方案的正确性, 按单因素比较所

得的最佳工艺参数组合 $A1B1C3D3$ 进行成型模拟, 试验结果为残余应力 32.72 MPa 、最高温度 103.1°C 、熔接痕数 0 、充填时间 3.173 s 、冻结时间 31.12 s 。由试验结果可以判断除充填时间外, 各指标均达到最佳值。从权重分析可知, 充填时间影响较少, 因此, 该组工艺参数可满足塑料件质量、生产效率和制造成本等方面综合性能的要求。

3 结语

笔者运用 CAE 软件 Moldflow 采用正交试验法对一次性叉塑料件进行仿真模拟多指标试验, 研究了不同成型工艺参数对残余应力、最高温度、充填时间和冻结时间等各试验指标的影响, 通过对试验结果运用多指标综合加权评分法分析, 在试验范围内获得多指标下的最佳成型工艺参数组合。由极差分析可知, 对试验指标综合评分主要影响因素是注射温度, 其次是注塑压力。试验研究探讨了多指标下注塑成型工艺参数优化方法, 弥补了单指标工艺参数优化试验的不足。

参 考 文 献

[1] 叶久新, 王群. 塑料成型工艺及模具设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.

[2] 余卫东, 陈建. Moldflow 技术在注塑成型过程中的应用[J]. 软件世界, 2001(6): 59 - 61.

[3] 项可风, 吴启光. 试验设计与数据分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989.

[4] 贺华波. 基于正交实验的旋盖产品成型工艺参数优化设计[J]. 工程塑料应用, 2009, 37(4): 35 - 38.

[5] 赵建. 基于制品收缩率的多型腔注塑模工艺参数优化[J]. 中国塑料, 2009, 23(2): 61 - 64.

[6] 许荔珉. 基于正交试验的注塑成型工艺参数 CAE 模拟设定[J]. 模具技术, 2007(2): 28 - 32.

OPTIMIZATION OF MULTI-INDEX INJECTION PARAMETERS
BASED ON CAE AND ORTHOGONAL TEST

Chen Yan, Cai Weiliang, Cai Yilan

(College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

ABSTRACT Taking the one-time plastic for example, the simulation experiment to optimiz multiple index parameters was conducted by using the CAE software Moldflow and orthogonal test. The influences of different parameters such as injection temperature, mold temperature, injection pressure and injection time on various experimental indexes were studied, and the best parameter combination within the test range was gained through the use of evaluation of multi-index weights.

KEYWORDS injection molding, multi-index, optimization of process parameters, CAE, orthogonal test

我国塑料工业产值已突破万亿元

2009 年 3 月 17 日, 中国塑料加工工业协会会长廖正品在第 24 届中国国际橡塑展新闻发布会上表示, 作为全球塑料消费最大的国家, 我国塑料产业的产值已突破 1 万亿元,

且发展前景看好。2009 年, 我国规模以上企业塑料制品产量达 4479.28 万 t, 同比增长 10.64%; 工业总产值 10992.8 亿元, 同比增长 13.4%, 占轻工业总产值的 10.26%, 位居第三。(中化)