

基于 Moldflow 的薄壁注塑件的工艺参数优化

刘晓红

(九江职业技术学院, 九江 332000)

摘要 以充电器外壳为例采用 Moldflow 软件对各工艺参数进行注射成型过程的模拟。运用信噪比分析分别研究各工艺参数对收缩、锁模力和翘曲变形的影响权重,得到最小目标值对应的最优工艺组合。利用最优组合对应的工艺参数,模拟试验验证了正交试验的有效性。利用正交试验对该薄壁注塑件进行了工艺参数优化的可靠性验证。

关键词 注射成型 参数优化 正交试验 Moldflow

随着科学水平的不断提高,人们对于传统工业有了更高的要求,一些新的方法被引用到这些行业中,其中 CAE 技术是目前各行业的大体趋势。传统工业中,塑料以其应用范围广、质量轻的优点迅速成为一大行业。面对现代塑料注塑件的品种繁多、结构复杂、精度高和生产周期短的要求,传统工业中注塑模具依靠设计人员的经验进行模具设计、反复修模和试模是无法满足的^[1]。采用计算机技术可对塑料模具进行辅助设计,通过 CAE 技术模拟成型质量,预知注塑件可能存在的缺陷并提出优化方案。实际生产中,经常会遇到薄壁类注塑件,这类注塑件的长径比大,降低了其可见成型性,在成型过程中,常会出现壁厚不均匀、短射、翘曲变形和熔接痕等缺陷,不能很好地满足要求^[2-3]。

笔者采用 Moldflow 软件对薄壁注塑件的注射成型过程进行模拟分析,预测填充时间、收缩值、锁模力和翘曲变形的位

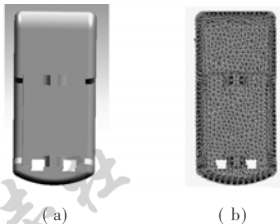
1 注塑件成型过程模拟

1.1 注塑件概况

图 1 所示为某充电器塑料外壳的三维几何模型和有限元模型。该注塑件属于薄壁件,其长为 95 mm,宽为 45 mm,高为 13 mm,厚度为 1 mm。有限元模型经手动修改后的网格匹配率达到 91.8% (>90%),确保了 CAE 分析的可靠性。由于三维模具中给出了特定的浇注系统和冷却系统,且为一模两腔,所以在 Moldflow 中通过手动建立浇注系统和冷却系统,最终的分析模型如图 2 所示。该充电器塑料外壳选取材料为丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料 (ABS),牌号为 620-31,由美国 A Schulman 公司生产。

1.2 正交试验

选取模具温度 A 、熔体温度 B 、保压压力 C 、保压



a—三维几何模型; b—有限元模型

图 1 充电器外壳的模型示意图

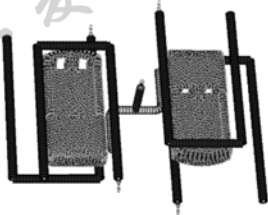


图 2 充电器外壳的有限元分析模型

时间 D 和注射速率 E 这 5 个工艺参数为研究对象,5 个工艺参数赋以 4 个水平。根据 Moldflow 6.1 软件提供的成型材料的成型工艺参数推荐范围来确定模具温度和熔体温度。

根据实际情况和一定数量前期模拟分析的结果,最终确定这 5 项工艺参数如表 1 所示。利用正交试验设计软件建立一个 L_{16} 的正交试验表,如表 2 所示。

表 1 5 因素 4 水平配置表

水平	因 素				
	$A/^{\circ}\text{C}$	$B/^{\circ}\text{C}$	C/MPa	D/s	$E/\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
1	60	220	130	10	18
2	70	240	150	13	20
3	80	260	170	16	22
4	90	280	190	19	24

根据表 2 的设置,用 Moldflow 软件进行成型模拟,并得到相应的填充时间 H 、收缩量 I 、锁模力 J 和翘曲量 K 数据,如表 3 所示。

表 2 正交试验表 L_{16}

试验号	A	B	C	D	E
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	1	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1
9	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

表 3 模拟试验所得数据

试验号	H/s	l/%	J/kN	K/mm
1	1.293	6.707	694.2	0.363 1
2	1.093	6.246	966	0.184 1
3	0.9809	5.559	1184	0.1247
4	0.8954	5.341	1278	0.1542
5	0.902	4.987	1096	0.1586
6	1.007	7.055	576.7	0.3089
7	1.077	4.961	1343	0.1526
8	1.197	5.554	1297	0.1257
9	1.092	5.315	965.6	0.1332
10	1.209	4.767	1150	0.1652
11	0.9107	7.356	793.2	0.2958
12	0.9817	6.719	1117	0.1625
13	0.9857	4.852	1087	0.1597
14	0.9022	5.452	1184	0.1245
15	1.208	6.321	967	0.1542
16	1.088	7.432	851.5	0.2689

2 数据分析

2.1 信噪比(S/N)分析

信噪比是信号和噪声的比值,是正交试验中评判试验效果的重要依据^[4]。正交试验方法根据不同水平的噪声计算信噪比,利用信噪比作为衡量因素重要性的标准,受噪声影响最小的试验即最大的信噪比,由此对试验进行优化。信噪比越大,性能对噪声的敏感程度越小。采用的是目标值越小越优计算方法。

通过公式(1)计算信噪比。

$$S/N = -10\lg(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2)$$
 (1)

式中:S/N——信噪比, dB;

y_i ——第 i 次试验结果;

n ——试验次数。

由式(1)可以计算出 H、I、J 和 K 这 4 项目标函数的信噪比,结果如表 4 所示。

表 4 H、I、J 和 K 的信噪比值 dB

因素	S/N_H			
	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4
A	-0.469	-0.332 75	-0.360 25	-0.348 75
B	-0.493 75	-0.397	-0.326 25	-0.293 75
C	-0.553 5	-0.301 95	-0.302	-0.302
D	-0.455 5	-0.329 5	-0.349 25	-0.376 5
E	-1.771	-0.728 25	0.098	0.890 5

因素	S/N_I			
	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4
A	-15.473 8	-14.932 5	-15.488 5	-15.471 8
B	-14.679	-15.294 5	-15.54	-15.853
C	-17.064	-15.607 75	-13.936 5	-13.936 5
D	-15.429 8	-15.463 8	-14.961	-15.512
E	-15.251	-15.438 8	-15.533 5	-15.143 3

因素	S/N_J			
	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4
A	-40.032	-42.757 5	-39.964 8	-40.126 3
B	-39.511 8	-39.4	-42.98	-40.988 8
C	-37.160 3	-40.291 5	-44.206 5	-44.206 5
D	-43.003 5	-40.168	-40.520 3	-39.188 8
E	-40.003	-42.689	-39.593	-40.595 5

因素	S/N_K			
	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4
A	14.454 75	15.135	14.878 25	15.419 25
B	14.559 25	14.66	15.307 5	15.360 5
C	10.247 75	15.678 5	17.685 2	16.035 25
D	14.752	14.806 5	15.281 25	15.047 5
E	14.672 5	14.986 5	15.001	15.227 25

由表 4 可以看出,模具温度、熔体温度、保压压力和保压时间对填充时间的影响趋势相同,即填充时间在水平 1 时取得最小值,在后几种水平中影响趋势近似不变且有最大值;注射速率对填充时间的影响最为明显,水平越高填充时间越短。各个因素对收缩的影响趋势是不同的,其中保压压力的作用更为明显,其次是熔体温度,而保压时间和填充速率呈相反的趋势。各个因素对锁模力的影响趋势都很明显,其中保压压力影响趋势最为明显。保压压力对翘曲变形的影响趋势比较明显,而其余的几项因素就不那么明显了。

2.2 方差分析

方差分析是通过百分数来评估工艺参数对填充时间、收缩量、锁模力、翘曲变形的影响权重。通过式(2~5)对数据进行处理。

$$SS_T = SS_d + SS_e$$
 (2)

$$SS_T = \sum (\eta_i - \bar{\eta_n})^2$$
 (3)

$$P = SS_d / SS_T$$
 (4)

$$F = \frac{SS_d / f_d}{SS_e / f_e} \tag{5}$$

式中: SS_T ——计算总离差平方和, 各样本观察值与总均值的离差平方和;

SS_d ——偏差平方和;

SS_e ——组内离差平方和, 表示同一样本组内, 由于随机因素影响所产生的离差平方和;

SS_d / f ——均方值;

n ——总的测量试验次数;

η_i ——第 i 次试验所得的 S/N 的平均值;

f ——自由度, 均为 3;

F ——显著水平;

P ——各种工艺参数对填充时间、收缩、锁模力和翘曲的影响权重值。

其方差分析见表 5 ~ 表 8。

表 5 填充时间方差分析表

因素	填充时间				
	A	B	C	D	E
SS_d	0.046	0.094	0.167	0.037	15.595
SS_d / f	0.0153	0.0314	0.0557	0.0123	5.1984
SS_e	0	0	0	0	0
$P / \%$	0.287	0.591	1.048	0.231	97.843

表 6 收缩方差分析表

因素	收缩量				
	A	B	C	D	E
SS_d	0.893	2.970	21.403	0.787	0.376
SS_d / f	0.2978	0.9899	7.1343	0.2622	0.1252
SS_e	0	0	0	0	0
$P / \%$	3.380	11.236	80.986	2.977	1.421

表 7 锁模力方差分析表

因素	锁模力				
	A	B	C	D	E
SS_d	22.189	335.22	101.049	316.13	227.01
SS_d / f	73.965	111.740	336.831	105.377	75.670
SS_e	0	0	0	0	0
$P / \%$	105.12	158.80	478.69	149.76	107.54

表 8 翘曲方差分析表

因素	翘曲量				
	A	B	C	D	E
SS_d	2.011	2.125	130.685	0.708	0.622
SS_d / f	0.6703	0.7084	43.5615	0.2359	0.2075
SS_e	0	0	0	0	0
$P / \%$	1.477	1.561	95.983	0.520	0.457

从表 5 ~ 表 8 可以看出, 充电器注塑件的模具温度、熔体温度、保压压力、保压时间和注射速率对填充时间的影响分别是 0.287%、0.591%、

1.048%、0.231%、97.843%; 对收缩的影响分别是 3.380%、11.236%、80.986%、2.977%、1.421%; 对锁模力的影响分别是 10.512%、15.880%、47.869%、14.976%、10.754%; 对翘曲量的影响分别是 1.477%、1.561%、95.983%、0.520%、0.457%。

3 预测最小填充时间、收缩量、锁模力和翘曲量

利用表 4 通过式 6 ~ 式 9 能预测出此注塑件的最小填充时间、最小收缩量、最小锁模力和最小翘曲量。

最小填充时间 =

$$A_2 + B_4 + C_2 + D_2 + E_4 - 4 \times (\bar{Y}_i) = 0.8882 \text{ s} \tag{6}$$

最小收缩量 = $A_2 + B_1 + C_4 + D_3 + E_4 - 4 \times (\bar{Y}_i) = 3.8990\%$ $\tag{7}$

最小锁模力 =

$$A_3 + B_2 + C_1 + D_4 + E_3 - 4 \times (\bar{Y}_i) = 504.975 \text{ kN} \tag{8}$$

最小翘曲量 =

$$A_4 + B_4 + C_3 + D_3 + E_4 - 4 \times (\bar{Y}_i) = 0.1072 \text{ mm} \tag{9}$$

式中: A_n ——各项在 A 为 n 水平时的平均值;
 B_n ——各项在 B 为 n 水平时的平均值;
 C_n ——各项在 C 为 n 水平时的平均值;
 D_n ——各项在 D 为 n 水平时的平均值;
 E_n ——各项在 E 为 n 水平时的平均值;
 $\bar{Y}_i$ ——各项的平均值。

运用相同的方法可以计算出最大填充时间的 S/N 值, 最大收缩量的 S/N 值, 最大锁模力的 S/N 值和最大翘曲量的 S/N 值。如式 10 ~ 式 13:

最大填充时间 S/N 值(最小填充时间) = $A_2 + B_4 + C_2 + D_2 + E_4 - 4 \times (\bar{Y}_i) = 0.9731 \text{ dB} \tag{10}$

最大收缩 S/N 值(最小收缩) = $A_2 + B_1 + C_4 + D_3 + E_4 - 4 \times (\bar{Y}_i) = -12.2859 \text{ dB} \tag{11}$

最大锁模力 S/N 值(最小锁模力) = $A_3 + B_2 + C_1 + D_4 + E_3 - 4 \times (\bar{Y}_i) = -34.9748 \text{ dB} \tag{12}$

最大翘曲 S/N 值(最小翘曲) =

$$A_4 + B_4 + C_3 + D_3 + E_4 - 4 \times (\bar{Y}_i) = 18.7556 \text{ dB} \quad (13)$$

式中: A_n 、 B_n 、 C_n 、 D_n 、 E_n ——信噪比分别在 A 、 B 、 C 、 D 、 E 为 n 水平时的平均值;

$\bar{Y}_i$ ——各项的平均值。

根据以上推算, 可以推测出: 最小填充时间为 0.888 2 s, 最小收缩量为 3.899 0%, 最小锁模力为 504.975 kN, 最小翘曲量为 0.107 2 mm。

4 试验验证

最小填充时间的工艺参数组合为 $A_2 B_4 C_2 D_2 E_4$, 最小收缩量的工艺参数组合为 $A_2 B_1 C_4 D_3 E_4$, 最小锁模力的工艺参数组合为 $A_3 B_2 C_1 D_4 E_3$ 和最小翘曲量的工艺参数组合为 $A_4 B_4 C_3 D_3 E_4$, 用模拟软件 Mold-flow 模拟后的结果如图 3 所示。

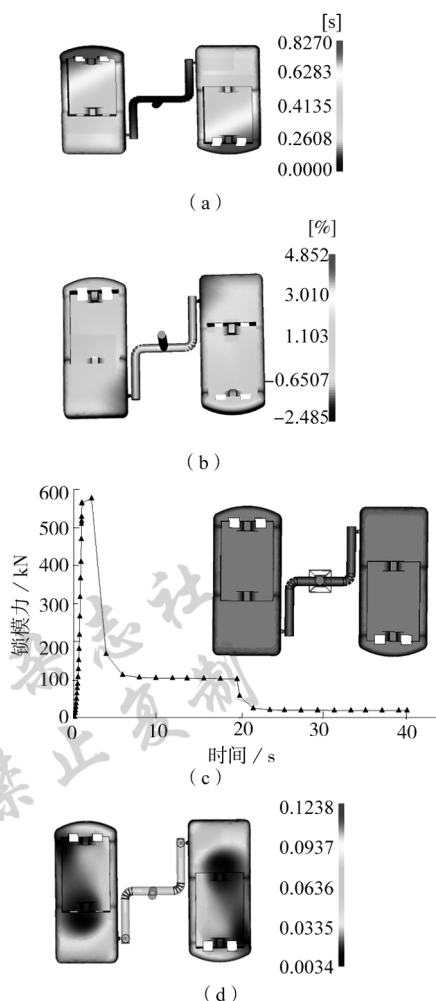
由图 3 可知, 工艺参数组合为 $A_2 B_4 C_2 D_2 E_4$ 时, 最小填充时间为 0.827 0 s; 工艺参数组合为 $A_2 B_1 C_4 D_3 E_4$ 时, 最小收缩量为 4.852%; 工艺参数组合为 $A_3 B_2 C_1 D_4 E_3$ 时, 最小锁模力为 526.2 kN; 工艺参数组合为 $A_4 B_4 C_3 D_3 E_4$ 时, 最小翘曲量为 0.123 8 mm。与预测值进行比较可知: 虽然数值不是完全吻合, 但也较接近, 且满足整体最优的要求。因为软件本身存在一定的波动性和计算时必要的修正, 所以通过验证知预测数值是可信的。由此也可看出, 正交试验以最小的实验次数找出成型规律的优点, 大大减少了实验次数和时间。

5 结论

(1) 通过信噪比分析, 可以知道填充时间的最优工艺参数的组合为 $A_2 B_4 C_2 D_2 E_4$, 收缩的最优工艺参数组合为 $A_2 B_1 C_4 D_3 E_4$, 锁模力的最优工艺参数组合为 $A_3 B_2 C_1 D_4 E_3$, 翘曲的最优工艺参数组合为 $A_4 B_4 C_3 D_3 E_4$ 。

(2) 通过方差分析, 可以得到: 对于填充时间, 5 个工艺参数的关系为 $E > C > B > A > D$, 其中注射速率占总的 97.843%; 对于收缩, 5 个工艺参数的关系为 $C > B > A > D > E$, 其中保压压力占 80.986%; 对于锁模力, 5 个工艺参数的关系为 $C > B > D > E > A$, 其中保压压力占 47.869%; 对于翘曲, 5 个工艺参数的关系为 $C > B > A > D > E$, 其中保压压力占 95.983%。

(3) 参数优化后的优化组合中, 最小填充时间



a—模拟的最小填充时间; b—模拟的最小收缩;
c—模拟的最小锁模力; d—模拟的最小翘曲

图 3 模拟后的结果

为 0.827 0 s, 相对于正交试验中的最小值 0.895 4 s 减少了 7.6%; 最小收缩量为 4.852%, 与正交试验中的最小值 4.767% 基本吻合、最小锁模力为 526.2 kN, 相对于正交试验中的最小值 576.7 kN 减少了 8.8%; 最小翘曲量为 0.123 8 mm, 相对于正交试验中的最小值 0.124 5 mm 减少了 0.56%。

参考文献

- [1] 黄钢华, 张益华, 鲁世红, 等. Moldflow 翘曲分析在注塑模中的应用[J]. 塑料制造, 2008(8): 64-67.
- [2] 李欣欣, 黄瑶, 王雷刚. 薄壁塑件注射成型工艺参数优化[J]. 塑料工业, 2009(11): 25-27.
- [3] 单岩, 王蓓, 王刚. Moldflow 模具分析技术基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [4] 申长雨. 注塑成型模拟及模具优化设计理论与方法[M]. 杭州: 科学出版社, 2009.

OPTIMIZATION OF PLASTICS INJECTION MOLDING PROCESS PARAMETERS BASED ON MOLDFLOW FOR THIN-SHELL PART

Liu Xiaohong

(JiuJiang Vocational and Technical College, JiuJiang 332000, China)

ABSTRACT Taking a daily charger shell for example, the software Moldflow was applied to simulate the injection process under different parameters. The signal-to-noise (S/N) and the analysis of variance (ANOVA) were used to find the optimum levels to indicate the impact of the process parameters on shrinkage, clamp force and warpage. A verification test was also performed to prove the effective of Taguchi technique after the optimum levels of process parameters were determined. It could be clearly inferred that Taguchi optimization was reliable for thin-shell plastic parts.

KEYWORDS injection molding, parameter optimization, orthogonal test, Moldflow

玻璃钢叶片推动了我国不饱和聚酯树脂和环氧 乙烯基树脂的技术创新

兆瓦级玻璃钢风电叶片对树脂的高性能要求加速了国内不饱和聚酯树脂和环氧乙烯基树脂的技术创新。国内兆瓦级风电市场从 2007 年进入高速发展期,年平均新增装机容量为 600 多万 KW,2009 年新增装机容量 1200 万 KW(折合 1.5 MW 叶片 8000 套),复合材料 16 万 t,树脂用量达 5 万余吨(含机舱罩),其中不饱和聚酯树脂和环氧乙烯基树脂约占 50%。

我国兆瓦级玻璃钢风电叶片专利技术大都是从德国和荷兰引进,叶片的叶形、结构、铺层、材料、模具技术到叶片制造是一个系统工程,对纤维和树脂有特定要求,并经过德国船级社 GL 认证。

风电叶片制造厂家一般不选用国内树脂厂家的树脂,使得外资企业得天独厚,抢先占得国内玻璃钢风电叶片市场。

但是,随着玻璃钢风电叶片制造厂家对引进技术的消化吸收,以及叶片设计、制造技术已从单一的引进向自主研发

转移,中材风电、中复连众、保定惠腾、上海玻璃钢研究院等骨干企业已具备 3 MW 以下叶片的自主研发能力,只要国内有研发能力的树脂企业不懈努力,这种外资树脂企业独占风电叶片市场的格局终究会被打破。(中聚网)

德国塑机公司开发新型螺杆挤出机

荷兰塑料管生产厂威文(Wavin)公司帮助德国 Munich 的塑料机械生产厂 Krass Maffei Berstorff 公司开发加工聚氯乙烯(PVC)管用新 K-M 系列 36D 双螺杆挤出机和一个排气口的单螺杆挤出机,进行现场试验。Krass Maffei Berstorff 公司将把这种新型号螺杆挤出机设备供应宽范围加工市场。

新设备配有 Krass Maffei 公司称之为 HPG(高性能构型)的螺杆,使长径比为 36 的螺杆挤出机全部长度都用于最佳化和均质化 PVC,取消和省去向大气的排气过程,与双排气口螺杆挤出机相比,产量提高 10%。新设备熔融段长意味着整个挤出过程积聚压力高和能更好地控制 PVC 熔体温度,混合段长则有利于助剂和发泡剂在 PVC 中分散均匀。

(慧聪网)

鞍山君利工程塑料有限公司

鞍山君利工程塑料有限公司是股份制企业,生产以工程塑料为主的改性材料。由教授级高级工程师、中国塑料加工工业协会专家委员会专家赵文聘负责生产技术。可为用户提供增强、增韧、复合、阻燃、环保阻燃、抗静电、耐磨、塑料合金类系列改性工程塑料。公司竭诚为用户“量身订做个性化需求的产品,为客户创造价值”。公司通过 ISO9001:2000 国际质量管理体系认证。公司宗旨:信誉第一;质量第一。

欢迎新老客户前来指导、合作!

- 改性品种: PA66、PA6、PP、PE、ABS、AS、HIPS、POM、PC、PC/ABS、PBT、PET、PVC 等系列改性塑料。
- 适用行业: 家电、汽车、机械、铁路、纺织、石油化工、煤矿、农业等。

经理: 徐长旭 13604228259, xuchangxu315@163.com

总工: 赵文聘 13804910274, zhaowenpin315@163.com

地址: 辽宁省鞍山市腾鳌镇黄县 邮编: 114225

电话: 0412-8935903 传真: 0412-8935803 网址: www.asjls.com