

菲涅尔透镜的微注塑实验研究^{*}

郑 辉¹ 仇中军¹ 路瑞军² 房丰洲¹

(1. 天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072; 2. 天津市计量监督检测科学研究院, 天津 300192)

摘要 通过对菲涅尔透镜进行微注塑过程模拟仿真,并结合正交实验,综合评价了各个微注塑参数对菲涅尔透镜成型质量的影响。利用加权算术平均法确定了各个微注塑参数对菲涅尔透镜收缩率和翘曲的综合影响排序,并得到菲涅尔透镜微注塑的最佳工艺参数组合。在仿真分析的结果上,通过实际微注塑实验,评价了菲涅尔透镜制品的质量,并比较了微注塑模拟仿真与实际微注塑过程的异同。结果表明,通过实际实验得到的最佳工艺参数与模拟仿真得到的最佳工艺参数十分接近,而注塑参数影响排序存在着一定的差异。

关键词 微注塑 菲涅尔透镜 正交实验

随着微光学的发展,微透镜在生物医疗、能源等领域的使用逐渐增多,其中菲涅尔透镜是微透镜使用比较典型的代表。菲涅尔透镜是由一系列同心棱形槽构成的光学系统,镜片表面一面为光面,另一面刻录了由小到大的同心圆,镜片表面微结构是利用光的干涉及衍射,以及相对灵敏度和接收角度要求来设计的。它的主要原理是光学表面成像取决于表面曲率,把透镜厚度减小,仍可把光线聚焦到原来厚透镜的焦点上^[1]。传统的菲涅尔透镜主要使用光学玻璃制成,生产工艺复杂、加工精度稳定性不高、无法形成批量生产,因而造成菲涅尔透镜价格较高,严重限制了其在各个领域进一步的应用。

聚合物材料具有密度小、质轻、比强度/比刚度高、耐腐蚀等优点,且价格低廉、种类繁多,在微光学镜头及其它微小器件的制作中,已逐步取代光学玻璃等材料。微注塑作为聚合物微结构成型的主要成型工艺,由于几乎不受塑料件几何形状的限制,制造工艺简单,生产成本低,易于实现大批量生产与自动化生产^[2],因此微注塑被认为是复杂型面微透镜未来能够被广泛应用的关键技术之一。

由于微注塑的成型过程影响因素较多,工艺复杂,现在还没有成熟的理论能指导微注塑生产,因此传统的注塑参数设定方法主要依靠操作人员的知识和经验,在试模阶段通过凑试决定注塑参数,这种方法不仅需要花费较长的时间同时需要操作人员具有深厚专业知识和经验,存在着试模时间长、物料浪费严重及工作效率低等缺陷^[3]。

为了缩短试模时间,提高菲涅尔透镜的成型质量,笔者基于 CAE 和正交实验相结合的方法,对菲涅尔透镜微注塑成型过程中的影响因素进行研究。

通过比较对菲涅尔透镜成像质量影响较大的缺陷即翘曲和收缩率,对各微注塑参数组合下的菲涅尔透镜成型质量进行评价,从而得到高质量菲涅尔透镜的工艺参数组合,并利用最佳工艺参数组合进行了菲涅尔透镜实际微注塑实验。

1 菲涅尔透镜微注塑模拟实验

笔者利用正交实验安排菲涅尔透镜模拟实验,得出各参数对菲涅尔透镜成型质量的影响。

(1) 实验指标的确定

在菲涅尔透镜的微注塑分析中,翘曲变形和收缩^[4]是比较常见且无法避免的成型缺陷,因而将翘曲变形量和成型收缩率作为评价指标。

(2) 实验因素与水平的确定

依据前期菲涅尔透镜微注塑准备试验结果以及 Moldflow 对注塑材料库的指导,设计因素包括模具温度(A)、熔体温度(B)、注射速率(C)、保压压力(D)、保压时间(E)、冷却时间(F),其水平取值如表 1 所示。

表 1 因素水平表

水平	因 素					
	$A / ^\circ\text{C}$	$B / ^\circ\text{C}$	$C / \text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$	D / MPa	E / s	F / s
1	60	240	20	20	2	5
2	70	255	40	40	4	10
3	80	270	60	60	6	15
4	90	285	80	80	8	20
5	100	300	100	100	10	25

上述水平分布的特点是各个因素水平之间的间隔合适,都在可调范围内,并依据实际微注塑经验,具有一定的可信度,不至于因素水平差异过大导

^{*} 国家自然科学基金项目(50905125);教育部装备预研项目(625010309)

收稿日期:2011-09-12

致分析结果失效。同时,每个因素有 5 个水平进行试验,相互组合后,具有广泛的覆盖区域,并且可以看出因素水平的改变对质量特征值的弯曲效应^[5]。

(3) 正交实验

以球面菲涅尔透镜的微注塑过程作为实例,菲涅尔透镜直径为 5 mm,圆弧半径也为 5 mm,齿间距 0.25 mm,透镜基板厚 1 mm,利用 Moldflow/MPI 进行微注塑过程模拟,球面菲涅尔透镜几何模型及建立 MPI 模拟注塑模型如图 1、2 所示。

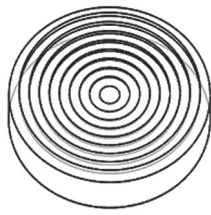


图 1 菲涅尔透镜模型

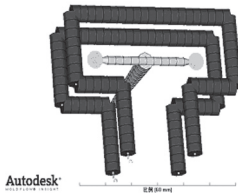


图 2 微注塑模型

模拟微注塑实验以收缩率和翘曲变形量作为考察指标,模拟结果见表 2。

翘曲变形量和收缩率两个考察指标对于各个因素水平的变化引起的变化规律不一样,为兼顾这两个指标,需找出使这两者均尽可能小的最佳工艺条件,因此在数据处理时应用了加权综合评分法^[5]。

加权综合评分值 Y_i 的计算公式如式(1)所示:

$$Y_i = b_{i1}Y_{i1} + b_{i2}Y_{i2} + \dots + b_{ij}Y_{ij} \quad (1)$$

式中: b_{ij} 为权因子系数,表示各项指标在综合加权评分中应占的权值; Y 为考察指标; i 表示第 i 号实验, $i=1, 2, \dots, 25$; j 表示第 j 考察指标, $j=1, 2$ 。

由于在实验中的翘曲变形量和收缩率的变化趋势相同,都是越小越好,所以 b_{i1} 和 b_{i2} 的符号相同。对于透镜类塑料件的微注塑过程来说,翘曲变形量和收缩率同等重要,因此假设两个指标对最终成型质量同等重要,各占 50 分。计算翘曲变形量和收缩率的变化范围即最大值和最小值之差 h_j :

翘曲变形量 $h_1=0.0212-0.0018=0.0194$; 收缩率 $h_2=10.53-3.91=6.62$

利用下式计算因子系数 b_{ij} :

$$b_{i1} = \frac{50}{0.0194} = 2577.3196; b_{i2} = \frac{50}{6.62} = 7.553$$

利用上述公式计算的加权综合评分值见表 2。

表 2 微注塑正交实验结果表

实验编号	A	B	C	D	E	F	翘曲变形量 (Y_{i1})	收缩率 (Y_{i2})	综合指标 (Y_i)
1	1	1	1	1	1	1	0.0212	7.071	108.0464
2	1	2	2	2	2	2	0.0115	7.465	86.02232
3	1	3	3	3	3	3	0.0074	6.789	70.349482
4	1	4	4	4	4	4	0.0047	6.295	59.659537
5	1	5	5	5	5	5	0.0021	5.791	49.151794
6	2	1	2	3	4	5	0.0084	6.027	67.171416
7	2	2	3	4	5	1	0.0051	5.281	53.031723
8	2	3	4	5	1	2	0.0023	7.36	61.517915
9	2	4	5	1	2	3	0.0157	9.943	115.5634
10	2	5	1	2	3	4	0.0086	9	90.141949
11	3	1	3	5	2	4	0.0026	3.91	36.233261
12	3	2	4	1	3	5	0.0171	8.602	109.04307
13	3	3	5	2	4	1	0.0097	8.049	85.794097
14	3	4	1	3	5	2	0.0068	7.214	72.013115
15	3	5	2	4	1	3	0.004	8.698	76.005272
16	4	1	4	2	5	3	0.0112	6.806	80.271698
17	4	2	5	3	1	4	0.0077	7.129	73.690698
18	4	3	1	4	2	5	0.0047	6.113	58.284891
19	4	4	2	5	3	1	0.0018	5.267	44.420826
20	4	5	3	1	4	2	0.0127	10.53	112.26505
21	5	1	5	4	3	2	0.0053	4.916	50.790342
22	5	2	1	5	4	3	0.0021	4.785	41.553476
23	5	3	2	1	5	4	0.0138	9.157	104.72953
24	5	4	3	2	1	5	0.0088	8.6	87.636212
25	5	5	4	3	2	1	0.0062	7.986	76.29764

(4) 最佳工艺参数

在表 2 中考察了 6 因素 5 水平对菲涅尔透镜翘曲变形量和收缩率的综合指标的影响,为了找到对综合指标影响较大的工艺参数,以及各个工艺参数对翘曲变形量影响程度的顺序,从而得到最佳工艺参数,对表 2 进行了极差分析。为了能更直观地表现各试验因素不同水平变化对考察指标的影响变化关系,将各个影响因素在不同水平下模拟实验的综合指标的均值绘制成如图 3 所示的曲线。

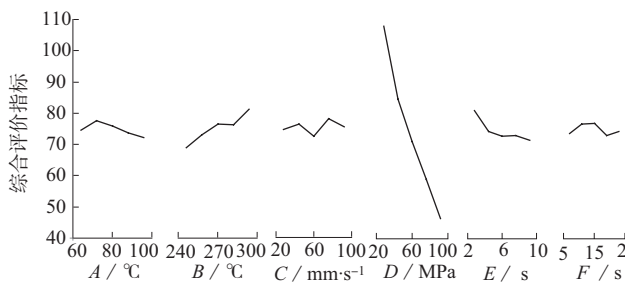


图 3 模拟正交实验极差图

从图 3 可以看出各个因素对综合指标的影响大小,即 D 对综合指标的影响最大, B 和 E 对

综合指标的影响分别是第二、三位, C 、 A 、 F 分别排第四、五、六位。各因子的最佳工艺参数组合是 $A5B1C3D5E5F4$, 即模具温度 100°C , 熔体温度 240°C , 注射速度 60 mm/s , 保压压力 100 MPa , 保压时间 10 s , 冷却时间 20 s 。利用得到的最佳工艺参数组合分析, 得到翘曲变形量为 0.0023 mm , 收缩率为 3.498% , 综合指标为 35.747079 。

综合可以看出, 在最佳工艺参数组合下得到的综合指标值要好于正交实验表中所有实验的综合指标值。

3 菲涅尔透镜微注塑实验

由于微注塑过程比较复杂, 影响因素较多, 实际实验与模拟仿真实验存在着差距, 因此为了进一步考察在实际微注塑过程中各因素对塑料件的影响, 细化菲涅尔透镜的最佳工艺参数, 笔者在仿真结果的基础上, 进一步进行了菲涅尔透镜的实际微注塑实验。

根据对菲涅尔透镜的微注塑参数模拟仿真实验, 笔者得到了各注塑参数对塑料件成型质量(主要是收缩变形和翘曲变形)的影响大小, 其中, 保压压力、熔体温度和保压时间三者对综合指标的影响比较显著, 所以在实际实验过程中, 为减少实验次数, 将重点考虑这三者对菲涅尔透镜成型质量的影响规律, 而将模具温度、注射速率和冷却时间作为不显著影响因素, 直接设定为仿真实验得到的最佳数值, 即模具温度 100°C , 注射速率 60 mm/s , 冷却时间 20 s 。采用 $L_9(3^3)$ 正交表设计实验。

微注塑实验采用 FANUC 公司的 ROBOSHOT S-2000i 50B 型注塑机, 菲涅尔模芯为铍铜材料, 利

用单点金刚石车削加工得到, 模芯直径为 5 mm , 菲涅尔齿距为 0.25 mm , 齿形圆弧半径为 5 mm , 如图 4 所示。

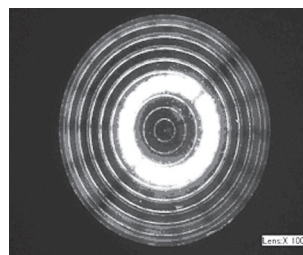


图4 菲涅尔模芯

根据表 3 进行菲涅尔透镜微注塑正交实验, 每组实验前 10 个塑料件舍弃不予取样, 从第 11 个开始计数, 共取 6 个制料件作为该组微注塑实验结果; 为更准确详细评价菲涅尔透镜形状精度, 实验输出以能够更直接表现形状精度的菲涅尔透镜齿宽误差、齿深误差及其左右对称性误差作为塑料件评价指标。微注塑实验得到的菲涅尔透镜如图 5 所示。

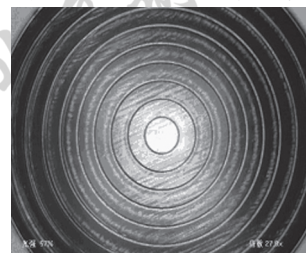


图5 菲涅尔透镜

利用 Taylor Hobson 轮廓仪扫描菲涅尔透镜表面轮廓, 并提取数据点, 与模芯镶件扫描结果提取的数据点进行比较, 分别计算塑料件相对于模芯对应齿间的齿宽误差 (K)、齿深误差 (S) 及其左右对称性误差 (D)。正交实验表及具体结果如表 3 所示。

表3 实际微注塑正交实验表

实验编号	保压压力/MPa	熔体温度/ $^{\circ}\text{C}$	保压时间/s	K	S	D	综合结果(Y_i)
1	60	230	2	0.125723528	0.410762667	0.053883849	1218.006227
2	60	240	6	0.119352627	0.412099	0.03599274	1185.948399
3	60	250	10	0.111799684	0.403647333	0.047465639	1175.613525
4	80	230	6	0.111755678	0.412012333	0.043036932	1188.02801
5	80	240	10	0.121199812	0.414029333	0.038642994	1197.237729
6	80	250	2	0.127672153	0.412558667	0.027611685	1183.42579
7	100	230	10	0.107564439	0.412892333	0.039076436	1178.309322
8	100	240	2	0.12520734	0.414185667	0.03035997	1188.79765
9	100	250	6	0.110072121	0.403914633	0.057636731	1191.037432

由于本实验需考察三个指标, 齿宽、齿深和对称性, 齿宽和齿深属于面形精度, 面形精度和对称性同等重要, 而且两个指标之间不矛盾, 即面形精度与模芯镶件偏差越小越好, 对称性偏差也越小越好, 因此两指标在评分中各占 50 分, 而齿宽和齿深对于面

形精度也同等重要, 其分值各占 25, 利用加权公式计算所得加权综合评分 Y_i 如表 3 所示。

对表 3 的实验数据及其处理结果进行极差分析, 如图 6 所示。

从图 6 可以看出, 正交实验的最佳工艺参数组

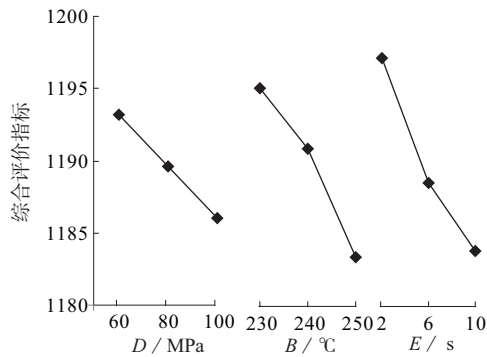


图6 实际正交实验极差图

合为保压压力 100 MPa、熔体温度 250℃、保压时间 10 s,这组参数与 Moldflow 仿真所得最佳工艺参数组合结果十分接近。从图 6 也可以看出,这三者对塑料件成型综合结果影响程度相差不大,保压时间影响程度略大,这与 Moldflow 仿真结果有差别,可能是因为在实际微注塑过程中,各个注塑参数的改变对塑料件的影响程度较小,环境因素影响比较严重,导致各个注塑参数对综合结果影响程度基本上一致。

4 结论

利用 CAE 和正交实验相结合的方法,对菲涅尔透镜微注塑过程的影响因素及其工艺参数优化进行了研究。通过对菲涅尔透镜进行微注塑过程模拟仿真,确定了各个微注塑参数对菲涅尔透镜收缩率和

翘曲的影响大小顺序为:保压压力>熔体温度>保压时间>注射速率>模具温度>冷却时间,并得到菲涅尔透镜微注塑成型加工的最佳工艺参数组合。在仿真分析的结果上,通过菲涅尔透镜实际微注塑实验,得到的最佳工艺参数与模拟仿真实验所得最佳工艺参数十分接近,但是由于环境等因素的影响,对于指标影响程度的评定上,实际实验与模拟仿真实验存在着差距,为提高塑料件质量及加强 CAE 在微注塑过程中的作用,需要在今后的实验过程中减小由于环境因素带来的对微注塑过程的影响。

参考文献

- [1] 王宝,陈依雯.菲涅尔透镜[J].云光技术,1983(6):55-60.
- [2] Kukla C, Loibl H, Detter H, et al. Micro-injecting molding-the aims of a project partnership [J]. Kunststoffe plast Europe, 1998, 88(9):6-7.
- [3] 陈志新,刘建雄.注射模设计中 CAE 技术的综合应用[J].模具工业,2006(9):24-27.
- [4] 董斌斌,申长丽,刘春太.注射工艺参数对 PC/ABS 材料制品收缩与翘曲的影响[J].高分子材料科学与工程,2005,21(4):232-235.
- [5] 陈建松.基于仿真的注塑翘曲参数优化方法的研究[D].广州:广东工业大学,2008.
- [6] 王利霞,杨杨,王蓓,等.注塑成型工艺参数对制品收缩率变化的影响及工艺参数优化[J].高分子材料科学与工程,2004,20(2):173-176.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON MICRO INJECTION MOLDING FOR FRESNEL LENS

Zheng Hui¹, Qiu Zhongjun¹, Lu Ruijun², Fang Fengzhou¹

(1. State Key Laboratory of Precision Measuring Technology & Instruments, Centre of Micro Nano Manufacturing Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Tianjin Institute of Metrological Supervision Testing, Tianjin 300192, China)

ABSTRACT A simulation was used to analyze the process of micro injecting molding for fresnel lens, combining with the orthogonal experiment, the influences of technological parameters on the molding quality were discussed. The influence sequences of technological parameters on shrinkage and warpage of fresnel lens were also insured by weighted average method, as well as the optimized process parameter combination was obtained. Base on the result of simulation, a micro injection molding practicality experiment was conducted. The quality of lens was estimated and the differences between simulation and practicality experiment were also compared. The results indicated that the optimization parameters gained by simulation and practicality experiment were similitude, but the influence sequences of technological parameters were different.

KEYWORDS micro injection molding, fresnel lens, orthogonal experiment

Wilmington 推出新型旋转吹瓶机更有优势

Wilmington 机械公司的新型旋转吹瓶机适用于生产轻质的高密度聚乙烯(PE-HD)牛奶瓶、多层阻隔容器或盛装热饮的容器,且符合包装加工商对经济性的要求。旋转吹瓶机比穿梭设备或往复式螺杆设备更有优势。

旋转吹瓶设备可为塑料瓶加工商提供简便、低成本、高品质的产品生产方式,且每年节电可达十万美元。该设

备操作简便,是因为已实现了机械手操作,并采用了单坯技术。如果采用往复式设备成型塑料瓶,需要 20~80 个型坯以保证每个瓶子的高度一致性,而瓶子在成型过程中的质量和材料分布总会存在变化,单坯技术则完全解决了这个问题。采用单旋系统还减少了设备的占地面积,因为一台高效的单旋设备可取代 3~4 台旧式成型设备。(慧聪网)