

复杂结构光学元件注射成型工艺参数优化^{*}

房小艳 陈俊云 赵清亮

(哈尔滨工业大学机电学院, 哈尔滨 150001)

摘要 利用 Taguchi 试验设计法,以成型过程中的保压压力、保压时间、注射时间、熔体温度、模具温度 5 个工艺参数作为影响因素,设计了 L_{27} 试验矩阵进行 CAE 仿真实验。以减小透镜注塑件翘曲变形为目标,通过计算信噪比,获得了最优工艺参数组合,为下一步工艺设计提供计算和实验依据。

关键词 注射成型 翘曲 工艺优化 Taguchi 试验设计法

全内反射-折射(TIR-R)聚光器是应用于聚光光伏系统的具有复杂结构的透镜组合,其光学效率对整个聚光光伏系统的光电转换效率起主要决定作用^[1-2]。在该聚光器的制造过程中,全内反射主透镜的制造误差在很大程度上决定着聚光器的光学效率。这是因为全内反射主透镜由高深宽比的菲涅耳槽和中心非球面组成,结构非常复杂,如图 1 所示。注塑试验之前的仿真分析和工艺参数优化是提高注塑件质量非常有效和快捷的途径,为了尽量降低由注射成型过程而引起的光伏聚光器的制造误差,注射成型之前进行仿真分析和工艺优化是非常关键的一步。

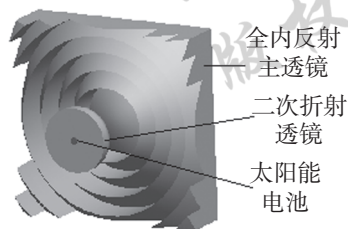


图 1 TIR-R 透镜组合三维结构图

注射成型工艺优化是一个多因素的优化问题,试验设计是研究与处理多因素试验的一种科学方法^[3]。数值模拟技术可以辅助优化工艺,但目前针对复杂结构注塑件,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 试验设计法设计了 L_{27} 试验矩阵,对全内反射主透镜成型过程进行仿真,较全面地研究了保压压力、保压时间、注射时间、熔体温度、模具温度 5 个工艺参数及保压压力与保压时间的交互作用对注塑件质量的影响,分析各工艺参数的影响规律,并优化成型工艺。

1 Taguchi 试验设计法

Taguchi 试验设计法主要基于一定的规则设计正交试验矩阵,确保以最小数目的试验获得全因素

试验中影响性能参数的全部信息^[4]。通过 Taguchi 试验设计法,可以用数目较少的试验找出所有因素及对应水平下的最优水平组合和试验因素对试验指标的影响度。在 Taguchi 试验设计中,采用信号噪声比(简称“信噪比”)作为试验稳定性的评价标准。

Taguchi 试验设计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,通过正交试验得到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。本试验的目标值翘曲变形越小越优,全内反射主透镜注塑件的品质越佳。将信噪比记作 k ,其计算公式如式(1):

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

式中: y_i 为第 i 次试验结果, n 为试验次数。 k 越大,试验结果越好。

2 试验部分

2.1 Taguchi 正交试验矩阵

Taguchi 试验设计法提供了固定的正交试验矩阵。一旦试验因素和各个因素的水平确定,对应的正交试验矩阵就确定,要严格按照该矩阵进行试验。笔者主要研究保压压力(A)、保压时间(B)、注射时间(C)、熔体温度(D)、模具温度(E) 5 个工艺参数对全内反射主透镜注塑件质量的影响。工艺参数的水平和取值根据所选材料的推荐工艺范围和实践经验制定,相应的试验水平和因素如表 1 所示。在试验方案设计中,考虑了保压压力和保压时间的交互作用,试验按照 $L_{27}(3^3)$ 正交试验方案前 7 列设计,表 2 给出了试验用正交矩阵的工艺参数水平,表中 $A \times B$ 表示保压压力与保压时间的交互作用,1、2、3

^{*} “高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项课题 (2009ZX04001-101, 2009ZX04001-151)、CAST 创新基金重点项目 (CAST200817)

表示各工艺参数的水平数。

表 1 试验因素水平表					
水平	因 素				
	A/MPa	B/s	C/s	D/℃	E/℃
1	100	25.0	1.5	220	60
2	115	32.5	2.3	240	70
3	130	40.0	3.0	260	80

表 2 Taguchi 试验 正交 矩阵的工艺参数水平														
序号	工艺参数水平设置						序号	工艺参数水平设置						
	A	B	A ×B	C	D	E		A	B	A ×B	C	D	E	
1	1	1	1	1	1	1	15	2	2	3	1	3	1	2
2	1	1	1	1	2	2	16	2	3	1	2	1	2	3
3	1	1	1	1	3	3	17	2	3	1	2	2	3	1
4	1	2	2	2	1	1	18	2	3	1	2	3	1	2
5	1	2	2	2	2	2	19	3	1	3	2	1	3	2
6	1	2	2	2	3	3	20	3	1	3	2	2	1	3
7	1	3	3	3	1	1	21	3	1	3	2	3	2	1
8	1	3	3	3	2	2	22	3	2	1	3	1	3	2
9	1	3	3	3	3	3	23	3	2	1	3	2	1	3
10	2	1	2	3	1	2	24	3	2	1	3	3	2	1
11	2	1	2	3	2	3	25	3	3	2	1	1	3	2
12	2	1	2	3	3	1	26	3	3	2	1	2	1	3
13	2	2	3	1	1	2	27	3	3	2	1	3	2	1
14	2	2	3	1	2	3	1							

2.2 基于 MPI 的 CAE 试验

试验所用材料为聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA), 为日本 Sumitomo Chemical 公司的 Sumipex HT55X PMMA, 具体物理性能如表 3 所示。采用日本 TOYO 公司的 Si-50IV 型注塑机。

表 3 PMMA 的物理性能				
模具温度/℃	熔体密度/g·cm ⁻³	熔体温度/℃	固体密度/g·cm ⁻³	顶出温度/℃
60 ~80	1.040	220 ~260	1.172	91

利用 MoldFlow/MPI 模流分析软件, 对全内反射主透镜注塑件进行了 Cool-Flow-Warp 模拟分析。由于全内反射主透镜结构复杂, 采用表面网格对模型进行划分网格匹配率达不到进行 Cool-Flow-Warp 模拟分析的要求, 而采用 3D 网格对模型进行划分可得到可靠准确的分析结果。初始工艺参数分析结果如图 2 所示, 翘曲主要发生在周边端角处, 最大翘曲面形变量为 0.2136 mm。

利用 CAE 软件进行数值模拟试验时没有实际试验中的外界扰动存在, 而在实际生产过程中环境温度和工作温度会有偏差, 注塑机的压力控制可能不完全精确, 故视其为噪音, 同样将其作为噪音引入到本模拟试验中。在本方案中, 把熔体温度偏差 1℃、保压压力偏差 1 MPa、体积与流量转换点偏差 0.05% 同时引入作为噪音。通过计算机数值模拟,

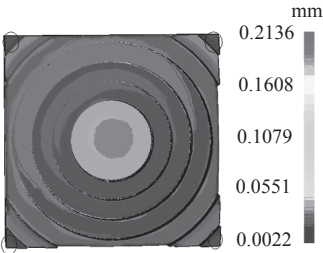


图 2 初始工艺参数分析结果

对正交试验矩阵中的 27 组工艺组合分别进行 3 次 CAE 试验, 并将翘曲变形结果记入表 4。

表 4 各组工艺条件下的试验结果

试验序号	翘曲变形量/mm			信噪比/dB
	噪音 -	噪音 0	噪音 +	
1	0.2219	0.2189	0.2213	13.12
2	0.1862	0.1822	0.1813	14.74
3	0.2018	0.2136	0.2207	13.47
4	0.2219	0.2188	0.2197	13.15
5	0.1812	0.1767	0.1736	15.03
6	0.1789	0.2040	0.2118	14.03
7	0.2212	0.2294	0.2167	13.05
8	0.1813	0.1767	0.1735	15.03
9	0.1743	0.2000	0.2092	14.20
10	0.1483	0.1338	0.1598	16.61
11	0.2131	0.1745	0.1578	14.74
12	0.1666	0.1467	0.2021	15.22
13	0.1400	0.1222	0.1474	17.27
14	0.1666	0.1227	0.1223	17.15
15	0.1721	0.1474	0.1565	15.97
16	0.1399	0.1212	0.1455	17.33
17	0.1595	0.1186	0.1182	17.49
18	0.1542	0.1379	0.2019	15.55
19	0.1722	0.0860	0.0986	18.07
20	0.1368	0.1363	0.1385	17.25
21	0.1393	0.2111	0.2116	14.41
22	0.0860	0.0742	0.0768	22.03
23	0.1315	0.1137	0.1592	17.32
24	0.1276	0.2106	0.2020	14.71
25	0.0754	0.0720	0.0743	22.63
26	0.1304	0.1302	0.1307	17.69
27	0.1211	0.2107	0.2026	14.77

3 试验结果及分析

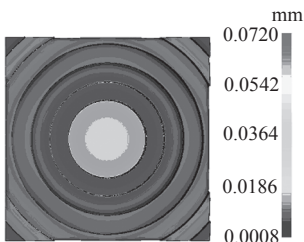
根据数值模拟试验结果, 利用式(1)计算出各工艺参数组合下的信噪比, 如表 4 所示。为了比较各工艺参数不同水平的优劣, 计算各工艺参数在不同水平下的信噪比(K_i)和平均信噪比(k_i), 如表 5 所示。优化工艺分析结果如图 3 所示。

由表 5 可知, 以翘曲变形量为考核指标, 保压压力和保压时间的交互作用并不明显, A3E2C1D3B3 为最优的信噪比工艺组合, 此组合恰好在所设计的试验中, 即当保压压力为 130 MPa、模具温度为

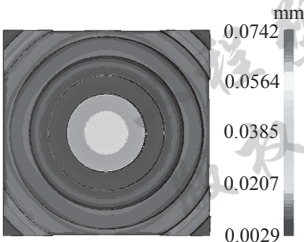
70℃、注射时间为 1.5 s、熔体温度为 260℃、保压时间为 40.0 s 时,全内反射主透镜注塑件的翘曲变形量最小,为 0.0720 mm,如图 3a 所示。

表 5 信噪比分析结果

因素	A	B	A × B		C	D	E
K1	125.82	137.64	145.77	146.81	153.27	138.34	132.59
K2	147.35	146.67	143.87	142.32	146.45	139.90	154.27
K3	158.88	147.74	142.41	142.92	132.33	153.81	145.18
k1	13.98	15.29	16.20	16.31	17.03	15.37	14.73
k2	16.37	16.30	15.99	15.81	16.27	15.54	17.14
k3	17.65	16.42	15.82	15.88	14.70	17.09	16.13
极差	3.67	1.13	0.38	0.50	2.33	1.72	2.41
优方案	A3	B3			C1	D3	E2



(a)



(b)

a—方案 A3E2C1D3B3; b—方案 A3E2C1D3B2

图 3 优化工艺分析结果

保压压力对全内反射主透镜注塑件翘曲变形的影响最为显著,其次是模具温度、注射时间、熔体温度、保压时间。增加保压压力可以减小翘曲变形量,其主要原因是提高保压压力可以增强保压补缩效果,提高注塑件密实程度,从而减小注塑件的变形。随着保压时间的适当延长,可以有效地发挥保压的压实补缩作用,翘曲变形减小;随着保压压力继续延长,由于注塑件已经充分冷却所以翘曲变形变化不再明显。

考虑到保压时间过长会增加注塑件内应力并且

影响生产效率,从注塑件品质和实际生产综合考虑,在保证翘曲变形量值的情况下应该选择较小的保压时间。所以最后的优化工艺方案为 A3E2C1D3B2,如图 3b 所示,全内反射主透镜注塑件的翘曲变形量为 0.0742 mm,与理论最优方案接近,可以接受。

对比优化后的工艺参数得到的仿真分析结果与初始仿真结果,全内反射主透镜注塑件的翘曲变形量明显减小,避免了通过反复验证—修改过程来进行工艺参数优化,快速准确地获得最优方案,体现了通过 Taguchi 试验设计法进行工艺参数优化的有效性和准确性。

4 结论

(1) 影响全内反射主透镜注塑件翘曲变形最显著的工艺参数是保压压力,其次是模具温度、注射时间、熔体温度、保压时间。通过调节保压压力、模具温度、注射时间可以有效提高全内反射主透镜注塑件的品质。

(2) 保压压力和保压时间的交互作用对全内反射主透镜注塑件的翘曲变形影响不大。

(3) 经数值模拟试验,全内反射主透镜注塑件的翘曲变形量明显减小,并结合实际分析得到了最优的工艺参数组合。CAE 和 Taguchi 试验设计法的结合是研究工艺参数对全内反射主透镜注塑件翘曲变形的影响并优化工艺参数的可行且有效的工具。

参考文献

[1] Alexander Slade, Stone Kenneth W, Gordon Robert, et al. High efficiency solar cells for concentrator systems: Silicon or multi-Junction [C]. Proceeding of SPIE, 2005, 5942: 5 942 001 - 5 942 008.

[2] Alvarez J L, Diaz V, Alonso J. Optics design key points for high gain photovoltaic solar energy concentrators [C]. Proceeding of SPIE, 2005, 5962: 5962 101 - 5962 109.

[3] 申长雨. 注塑成型模拟与模具优化设计理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2009.

[4] Taguchi G, Chowdhury S, Wu Y. Taguchi's quality engineering handbook [M]. New York: John Wiley & Sons, 2004.

[5] 周英国, 申长雨, 陈静波, 等. 工艺参数对注塑制品翘曲影响的 CAE 分析[J]. 工程塑料应用, 2006, 34(11): 28 - 31.

[6] 高月华, 王西城. 注塑制品的翘曲优化及影响因素分析[J]. 化工学报, 2007, 58(6): 1575 - 1580.

OPTIMIZATION OF PROCESS PARAMETERS OF INJECTION MOLDING OF OPTICAL ASPHERIC LENS

Fang Xiaoyan, Chen Junyun, Zhao Qingliang

(School of Mechatronics Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

ABSTRACT An optimization method of Taguchi experimental design was used to optimize the processing parameters to minimize

the warpage of the TIR (total internal reflection) primary lens of the photovoltaic concentrator module. The injection processing parameters including melt temperature, mold temperature, injection time, packing pressure and packing time were first considered as the parameters of experiment plan for the Taguchi L27 experiment table, then a series of CAE simulation experiments were proceeded to study the warpage variation. Finally, the signal to noise ratio was utilized to find out the best injection process parameters, which could be used as the guidance of the subsequent injection molding experiments.

KEYWORDS injection molding, warpage, process optimum, method of Taguchi experimental design

重庆成为国内最大聚甲醛生产基地

云天化集团在重庆长寿化工园区投资的二期项目 2 万 t/年聚甲醛装置一次性开车成功,使其在重庆的聚甲醛年产规模达到 6 万 t,加上其在云南水富的 3 万 t/年聚甲醛装置,云天化聚甲醛年产规模已达 9 万 t,居全国首位。重庆也一举成为国内最大的聚甲醛生产基地。

最近几年,云天化因受原料甲醇的制约,一直寻求向外扩张的机会,得知长寿化工园区内有香港建滔、川维公司等企业生产甲醇的信息后,便决定入驻长寿,使云天化能够实现甲醇原料的就近配套。

2007 年 4 月,云天化 6 万 t/年聚甲醛项目在长寿化工园区开工,分两期建设,总投资超过 14 亿元。云天化投资 3 亿元的新材料研发中心去年也在该园区开建,预计今年底投运,将支持云天化延伸聚甲醛产业链。(工塑网)

上海新型聚乙烯热收缩膜纵向收缩率达到 70%

上海方联包装材料有限公司推出一种新型聚乙烯热收缩膜产品。此款产品选用低密度聚乙烯(LDPE)为原材料,能够达到常规标准,如横向收缩率达到 85%,纵向收缩率达到 70%。新型的聚乙烯热收缩膜可用于多种产品的外包装,如罐头饮料、各类工业产品的外包装等。聚乙烯热收缩膜产品的规格、颜色、厚度及收缩率可按客户要求制作。

新型聚乙烯热收缩膜产品具有无毒、高度透明、轻薄坚韧、机械强度高、撕裂强度高特点,且用收缩膜包装的物品外形美观,适合各种不同形状商品的包装,可满足客户的日常要求。(林)

锦湖日丽开发成功大尺寸 LCD 液晶电视

用高流动无卤阻燃 PC/ABS

上海锦湖日丽塑料有限公司结合大尺寸 LCD 液晶电视外壳材料的特殊要求,开发出超高流动高光无卤阻燃材料 PC/ABS HAC8250NH-F,该材料具有高光泽、免喷涂和外观优良、高刚性和冲击强度优异、流动性好,易于成型等特点;同时能够满足 UL-94V-0 无卤环保阻燃。

LCD 液晶电视发展趋向美观、轻量化、大尺寸发展。锦湖日丽聚碳酸酯部门的技术主管罗明华说:“生产 LCD 液晶电视外壳材料一般选用 PC/ABS 高光无卤阻燃料,但是随着 LCD 液晶电视的大尺寸、轻量化发展要求,对 PC/ABS 无卤阻燃料在成型加工性和材料刚性等方面提出新的要求。”成型大尺寸 LCD 液晶电视的外壳,需要 PC/ABS 高光无卤阻燃料具有以下特点:(1)外观方面:需要具有优异外观,能达到免喷涂高光泽效果;(2)流动性方面:由于外壳制件更大

更薄壁化,所以需要材料具有更高的流长比,更为优异的熔体流动性,便于成型大型薄壁制件;(3)刚性:随着外壳制件长度增加,厚度减小,需要材料具有优异刚性保证制件使用需要;(4)冲击强度:外壳制件薄壁化后,需要保持制件的韧性,确保使用时的安全性,所以需要材料具有优异的冲击强度;(5)阻燃性方面:需要符合家电行业安全标准,满足 RoHS 及 UL-94V-0。

而传统 PC/ABS 在流动性和刚性方面存在不足,导致其在大尺寸 LCD 液晶电视的外壳上使用受限。罗明华说:“锦湖日丽通过技术改进开发出超高流动高光无卤阻燃料 PC/ABS HAC8250NH-F,在确保制件优异外观、良好冲击性能及阻燃特性的基础上,提高了材料的流动性,使其更适合大尺寸薄壁成型,同时一定程度上适当改善了材料刚性,可以确保薄壁化后制件的支撑强度。”

目前,锦湖日丽超高流动高光无卤阻燃料 PC/ABS HAC8250NH-F 已经成功应用于 Sharp60 寸 LCD 液晶电视的外壳,并在其他客户处推广应用。(慧聰网)

6 月起上海石化塑料产品将进入全配送模式

按照中国石化集团公司要求,从今年 6 月起,上海石化塑料产品将进入全配送的模式。旨在进一步优化流程,提高工作效率,大大降低整体物流成本。塑料产品进入全配送模式后,预计每月的配送量将由原来的 8000 t 上升到 70000 t,配送数量的剧增给上海石化物资供应公司带来极大的挑战。面对这项挑战,该公司根据有关要求,充分利用现有资源,从 2009 年下半年起着手准备,分四步走全力做好思想准备、人员配备和机制配套,全力以赴做好塑料产品全配送的各项准备工作。

第一步,派专人收集各家采购客户联系人的联系方式、送货地址等资料,并对所有塑料需求商、承运商的属性、信贷、采购规格、批量以及其特有需求等方面的信息,进行全面、详细的整理和归档。第二步,派员对上海石化生产装置的情况、产能以及生产计划安排进行全方位了解,并组织相关人员对塑料产品的规格、批量、包装、容载率以及理化特性进行学习,对所需采购塑料产品的规格、型号、数量进行系统性的整理。第三步,加强与需求商、承运商的联系,定期召开对接会,交流前期准备工作事宜以及向承运商传递具体操作信息。第四步,制订有效控制管理机制,通过《车辆动态表》以及《业务完成情况表》等数据,集合先进的 ERP、GPS、WMS、EMAIL 等网络系统合理安排业务,布置预控措施。

(工塑网)