

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.07.013

汽车车窗装饰板浇口分析及注塑工艺优化

孙庆东¹,汪五二²,池根才³,金垚³

[1.扬州市职业大学机械工程学院,江苏扬州 225009; 2.奥曼克(上海)咨询有限公司,上海 201100;
3.扬州盛世模塑科技有限公司,江苏扬州 225002]

摘要:以汽车车窗装饰板为研究对象,利用Moldflow软件对4个浇口方案进行成型仿真,将体积收缩率和翘曲变形量作为衡量方案优劣的指标,得到短边大浇口方案为最优方案。将注射时间、熔体温度、模具温度、保压压力和保压时间作为析因设计的5个因素,利用Minitab软件设计析因试验方案,以体积收缩率和翘曲变形量为响应指标进行方差分析,从而确定各因素及因素交互作用对响应指标的影响程度,运用弯曲项的 P 值和主效应图判断回归方程为非线性方程。在析因设计的基础上追加响应曲面设计的序贯试验,得到了体积收缩率和翘曲变形量的回归方程。以体积收缩率小于5.5%和翘曲变形量小于0.5 mm为优化目标,实现注塑工艺参数的多响应优化。优化结果为注射时间10 s,熔体温度256.969 7 °C,模具温度35 °C,保压压力80.545 5%,保压时间8 s。通过优化后的工艺进行生产,发现车窗装饰板上表面高亮光洁,且无熔接痕、缩孔、飞边等成型缺陷,验证了试验方案的合理性。

关键词:车窗装饰板;体积收缩率;翘曲变形量;析因设计;方差分析;响应曲面设计

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)07-0079-06

Gate Analysis and Optimization of Injection Molding Process for Car Window Decorative Panel

Sun Qingdong¹, Wang Wuer², Chi Gencai³, Jin Yao³

[1. School of Mechanical Engineering, Yangzhou Polytechnic College, Yangzhou 225009, China; 2. OMNEX (Shanghai) Consulting Co., Ltd., Shanghai 201100, China; 3. Yangzhou Shengshi Moulding Technology Co., Ltd., Yangzhou 225002, China]

Abstract : The car window decorative panel was used as the research object. four gate schemes were formed and simulated by using Moldflow software. The volume shrinkage rate and warping deformation were used as indicators to evaluate the quality of the plan, and the short side large gate plan was obtained as the optimal plan. Taking injection time, melt temperature, mold temperature, holding pressure, and holding time as five factors in factorial design, using Minitab software to design a factorial test plan. Analysis of variance was conducted by using volume shrinkage and warping deformation as response indicators to determine the degree of influence of various factors and their interactions on the response indicators. The P value of the bending term and the main effect diagram were used to judge that the regression equation was nonlinear. Sequential experiment was added to respond to surface design on the basis of factorial design, regression equations for volume shrinkage and warping deformation were obtained. The multi response optimization of injection molding process parameters was achieved with the optimization objectives of a volume shrinkage rate of less than 5.5% and a warping deformation of less than 0.5 mm. The optimization results are as follows: injection time of 10 s, melt temperature of 256.969 7 °C, mold temperature of 35 °C, holding pressure of 80.545 5%, and holding time of 8 s. Through production with the optimized process, the surface of the car window decorative panel is bright and smooth, and there are no welding marks, shrinkage holes, flash and other molding defects, which verifies the rationality of the test plan.

Keywords : car window decorative panel ; volume shrinkage ; warpage deformation ; factorial design ; analysis of variance ; response surface design

基金项目: 江苏省“十四五”高校国际化人才培养品牌专业建设项目(202244)

通信作者: 孙庆东, 硕士, 副教授, 主要研究方向为模具设计与制造、模具数值模拟技术

收稿日期: 2023-06-05

引用格式: 孙庆东,汪五二,池根才,等.汽车车窗装饰板浇口分析及注塑工艺优化[J].工程塑料应用,2023,51(7):79-84.

Sun Qingdong, Wang Wuer, Chi Gencai, et al. Gate analysis and optimization of injection molding process for car window decorative panel [J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(7): 79-84.

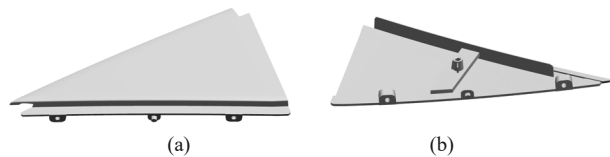
汽车车窗装饰板的上表面为光滑的高光面,质量要求严格,生产过程中需严格控制收缩和变形,且不允许有熔接痕、缩孔、飞边等成型缺陷。近年来,随着计算机技术的发展,结合注塑有限元仿真技术和各种实验设计与数据处理方法已成为有效控制塑件成型缺陷的手段^[1-5]。谭安平^[6]选取熔体温度、模具温度、保压压力及保压时间作为正交试验的因素,进行正交试验设计,通过 Moldflow 仿真和实验数据的分析得到翘曲变形量最小时的最佳成型工艺。张建鹏^[7]选取模具温度、熔体温度、保压压力、速度/压力切换作为析因设计的因素,应用 Moldflow 模拟计算,分析不同因素及因素交互作用对一射翘曲变形量和二射体积收缩率的影响显著程度,得到最优的工艺参数组合。宁敬威^[8]运用响应曲面法并结合 Moldflow 仿真,通过 3D 响应图分析熔体温度、模具温度、保压时间、保压压力对翘曲变形量的交互影响,实现注塑工艺参数的优化。吴俊超^[9]采用正交法对影响产品合格率的 7 个因素进行筛选,后运用响应曲面法求解响应值最小时对应因素的取值,从而实现工艺参数的优化。

上述研究对笔者有很大的启发。但正交试验设计不能优化到各因素水平的区间值;且对于因素间交互效应明显的试验,在不确定哪些因素交互作用较明显的情况下很难设计出合理的正交表表头。析因设计不能很好解决回归方程弯曲即非线性时各因素寻优的问题。响应曲面设计能很好地解决上述问题,但响应曲面的试验数据次数较多,试验不够简单、经济,因此不作为首选试验方案。鉴于此,笔者以汽车车窗装饰板为研究对象,先仿真确定企业提供的浇口位置和尺寸方案。然后,运用试验次数较少的 1/2 部分实施的析因设计,结合 Moldflow 模拟计算,以体积收缩率和翘曲变形量为响应指标,利用 Minitab 软件进行方差分析,从而确定各因素及因素交互作用对响应指标的影响是否显著。同时,通过方差分析中弯曲项的 P 值和主效应图判断回归方程是否是非线性。在判断回归方程非线性的基础上使用响应曲面法追加序贯试验。以塑件的体积收缩率小于 5.5% 和翘曲变形量小于 0.5 mm 为优化目标,实现注塑工艺参数的多响应优化。

1 塑件基本信息及 Moldflow 预处理

汽车车窗装饰板的模型如图 1 所示,尺寸为 228.8 mm×112.2 mm×19.7 mm,平均壁厚为 2.5 mm。

产品长边侧面有用于装配定位的圆柱和侧孔,下表面有安装限位面和柱体等特征,因此必须严格控制收缩和翘曲变形量,否则会影响塑件外观和无法满足装配要求。



a—上表面;b—下表面

图1 汽车车窗装饰板模型

将车窗装饰板的 UG 模型以双层面网格类型导入 Moldflow 软件中,设置网格边长为 4 mm,并划分网格。经过网格诊断和修复,三角形网格单元为 7 004 个,网格匹配率为 90.6%,无自由边、相交单元和重叠单元,满足模流分析要求。车窗装饰板材料为聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA),推荐注塑工艺参数为:模具表面温度 60 °C、熔体温度 250 °C、模温范围 35 ~ 80 °C、熔体温度范围 240 ~ 280 °C、顶出温度 85 °C、最大剪切应力 0.41 MPa、最大剪切速率 21 000 s⁻¹。

2 浇口分析

浇口的数量、位置、尺寸是影响制品质量的主要因素,熔接痕、气穴、翘曲变形等成型缺陷均与浇口设计不合理有关。装饰板上表面和上侧面安装后暴露在外,不能有浇口痕迹。因此,只能在被车窗饰条遮盖的下侧面(长边)或右侧面(短边)设置侧浇口或潜伏式浇口,为了结构简单和便于修模,采用侧浇口方案。为考察浇口位置和尺寸对成型质量的影响,结合企业提供的侧浇口位置、尺寸方案,确定表 1 列出的试验方案。浇口为梯形锥体形状,大、小浇口的始端顶部宽度、始端底部宽度和始端高度的尺寸相同,分别为 14, 17 mm 和 5 mm,末端尺寸列于表 1。车窗装饰板采用一模两腔的热流道模具,结合模具三维设计,最终设计的长边侧浇口和短边侧浇口的 Moldflow 分析模型如图 2 所示。

在 Moldflow 的“工艺设置”中进行如下设置:熔

表1 浇口试验方案与仿真结果

侧浇口类型	浇口大小	末端顶部宽度/mm	末端底部宽度/mm	末端高度/mm	体积收缩率/%	翘曲变形量/mm
长边	小	19	22	1.5	8.214	1.874
	大	32	35	2.5	7.467	1.328
短边	小	19	22	1.5	7.132	1.216
	大	32	35	2.5	7.087	1.195

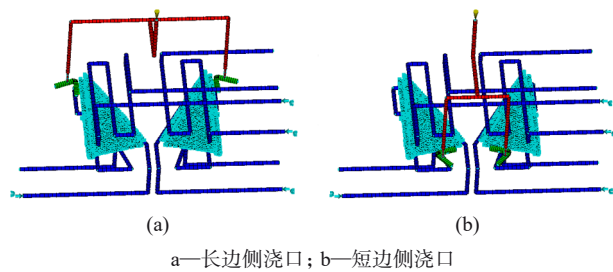


图2 Moldflow分析模型

体温度为 250 °C,开模时间为 5 s,注射+保压+冷却时间为 30 s,注射时间为 8 s,速度/压力切换为 99%。仿真结果列于表 1。从表 1 可知,短边大浇口方案的体积收缩率和翘曲变形量均最小,因此以该方案为浇口位置和尺寸的最终设计方案进行后续的注塑工艺分析。

3 析因设计

在 DOE 试验时,第一次试验应尽量简单,应采用最少的成本解决工程实际问题。根据工程经验,确定影响体积收缩率和翘曲变形量的主要因素为注射时间(A)、熔体温度(B)、模具温度(C)、保压压力(D)、保压时间(E)。由于因子数为 5,各因素采用 3 个水平值,且 1/2 部分实施时 16 次试验的分辨度为 V 级,此时析因设计比响应曲面的试验次数少,因此在未知回归方程是否非线性的情况下,采用 1/2 部分实施的析因设计进行试验分析^[10]。

结合 PMMA 的推荐工艺参数和生产实践,确定不同因素的工艺范围,注射时间 6~10 s,熔体温度 240~280 °C,模具温度 35~80 °C,保压压力 80%~98%,保压时间 8~12 s。同时,为便于考察回归方程是否弯曲,将区组的中心点数设置为 3,得到析因设计的 19 次试验列于表 2。

3.1 析因设计求“体积收缩率”最小值时方差分析计算结果

利用 Minitab 对表 2 中的“体积收缩率”进行数据分析,采用标准化效应值 0.15 进行计算,表 3 为响应是“体积收缩率”的方差分析计算结果。由表 3 可知,弯曲项的 P 值为 0.001,远小于 0.05,由于 P 值越小对响应的的影响程度越显著^[11-13],可见弯曲极为明显;同时由体积收缩率的主效应图(图 3)可知,各因素中的中心点远离最小值和最大值绘制成的直线,表明回归方程是抛物线方程,非线性极为明显。

3.2 析因设计求“翘曲变形量”最小值时方差分析计算结果

用同样的方法对表 2 中“翘曲变形量”的数据进

表2 析因设计与试验结果

标准序	运行序	中心点	A/s	B/°C	C/°C	D/%	E/s	体积收缩率/%	翘曲变形量/mm
2	1	1	10	240	35.0	80	8	4.840	0.447 8
5	2	1	6	240	80.0	80	8	6.361	0.851 0
4	3	1	10	280	35.0	80	12	5.195	0.431 4
13	4	1	6	240	80.0	98	12	5.670	0.693 3
15	5	1	6	280	80.0	98	8	8.725	1.002 0
8	6	1	10	280	80.0	80	8	8.352	0.798 3
9	7	1	6	240	35.0	98	8	8.040	0.501 2
7	8	1	6	280	80.0	80	12	8.880	0.984 1
17	9	0	8	260	57.5	89	10	6.341	0.692 5
16	10	1	10	280	80.0	98	12	8.177	0.714 0
6	11	1	10	240	80.0	80	12	7.232	0.701 2
18	12	0	8	260	57.5	89	10	6.341	0.692 5
14	13	1	10	240	80.0	98	8	7.232	0.540 4
11	14	1	6	280	35.0	98	12	7.885	0.906 7
12	15	1	10	280	35.0	98	8	5.961	0.572 1
10	16	1	10	240	35.0	98	12	3.997	0.610 0
19	17	0	8	260	57.5	89	10	6.341	0.692 5
3	18	1	6	280	35.0	80	8	8.188	0.949 5
1	19	1	6	240	35.0	80	12	8.040	0.886 3

表3 响应是“体积收缩率”的方差分析计算结果

来源	自由度	离均差平方	均方	F值	P值
模型	8	33.854 1	4.231 8	24.05	0.000
线性	5	18.533 2	3.706 6	21.06	0.000
A	1	7.294 1	7.294 1	41.45	0.000
B	1	6.188 9	6.188 9	35.17	0.000
C	1	4.497 6	4.497 6	25.56	0.000
D	1	0.122 7	0.122 7	0.70	0.423
E	1	0.430 0	0.430 0	2.44	0.149
因子交互作用	3	15.320 8	5.106 9	29.02	0.000
A×C	1	11.419 3	11.419 3	64.89	0.000
B×C	1	1.773 6	1.773 6	10.08	0.010
D×E	1	2.128 0	2.128 0	12.09	0.006
误差	10	1.759 8	0.176 0		
弯曲	1	1.264 3	1.264 3	22.97	0.001
失拟	7	0.495 5	0.070 8	*	*
纯误差	2	0.000 0	0.000 0		
合计	18	35.613 9			

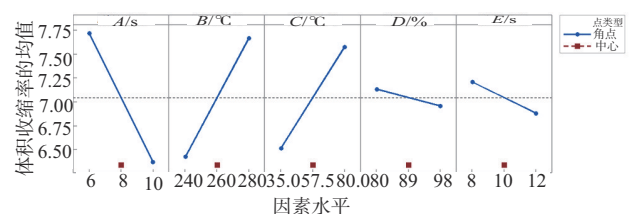


图3 体积收缩率的主效应图

行分析,很容易求出弯曲项的 P 值为 0.015,小于 0.05,即弯曲明显;同时由翘曲变形量的主效应图(图 4)可知,各因素中的中心点虽靠近直线,但仍然表现出明显弯曲的趋势。

由于析因设计的“体积收缩率”回归方程弯曲

极为明显,“翘曲变形量”回归方程弯曲明显,因此需要追加能够较好解决回归方程非线性问题的响应曲面进行序贯试验。

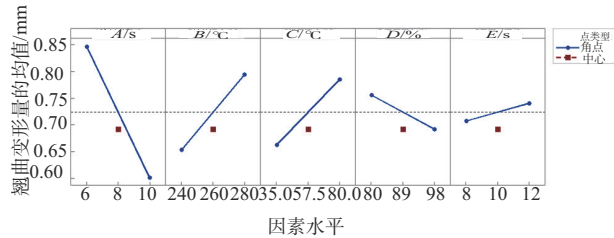


图4 翘曲变形量的主效应图

4 响应曲面设计

响应曲面是一种主要用来解决非线性数据处理问题的试验条件寻优方法。通过在小区域内用简单的一次或二次多项式模型来拟合复杂的因素和响应值之间的函数关系,指导多变量优化问题,可以预测响应最优值及对应的试验条件^[14-16]。

由于响应曲面中的中心复合试验与前文中的析因设计具有序贯性,同时为了进行面上的试验,在Minitab软件的DOE项“修改设计”对话框中设置为“添加轴点”,并设置Alpha值为“表面中心”,添加中心点数为3,得到表4所示的响应曲面设计需要添加的13次试验数据。

表4 响应曲面设计添加的数据与试验结果

标准 序号	运行 序号	中 心 点	A/ s	B/°C	C/ °C	D/%	E/s	体积收 缩率/%	翘曲变 形量/ mm
20	20	-1	6	260	57.5	89	10	7.234	0.865 8
21	21	-1	10	260	57.5	89	10	5.288	0.443 7
22	22	-1	8	240	57.5	89	10	6.996	0.674 3
23	23	-1	8	280	57.5	89	10	7.296	0.648 7
24	24	-1	8	260	35.0	89	10	5.110	0.443 7
25	25	-1	8	260	80.0	89	10	7.265	0.771 3
26	26	-1	8	260	57.5	80	10	6.442	0.762 0
27	27	-1	8	260	57.5	98	10	6.255	0.634 1
28	28	-1	8	260	57.5	89	8	6.561	0.675 8
29	29	-1	8	260	57.5	89	12	6.341	0.705 4
30	30	0	8	260	57.5	89	10	6.341	0.692 5
31	31	0	8	260	57.5	89	10	6.341	0.692 5
32	32	0	8	260	57.5	89	10	6.341	0.692 5

4.1 响应曲面法求“体积收缩率”最小值时方差分析计算结果

针对表2、表4试验结果中的“体积收缩率”进行数据复合,在Minitab软件中的“项”对话框中选择“完全二次”并勾选“在模型中包含区组”。表5为响应是“体积收缩率”的方差分析计算结果,并得到了体积收缩率 V_s 回归方程(1)。

表5 响应是“体积收缩率”的方差分析计算结果

来源	自由 度	离均差平 方和	均方	F值	P值
模型	10	41.491 0	4.149 1	57.68	0.000
线性	5	21.744 0	4.348 8	60.46	0.000
A	1	9.029 8	9.029 8	125.54	0.000
B	1	5.837 9	5.837 9	81.16	0.000
C	1	6.287 1	6.287 1	87.41	0.000
D	1	0.140 1	0.140 1	1.95	0.177
E	1	0.449 0	0.449 0	6.24	0.021
平方	1	4.252 5	4.252 5	59.12	0.000
B×B	1	4.252 5	4.252 5	59.12	0.000
双因子交互作用	4	15.494 5	3.873 6	53.85	0.000
A×C	1	11.419 3	11.419 3	158.76	0.000
B×C	1	1.773 6	1.773 6	24.66	0.000
B×D	1	0.173 7	0.173 7	2.41	0.135
D×E	1	2.128 0	2.128 0	29.58	0.000
误差	21	1.510 5	0.071 9		
失拟	17	1.510 5	0.088 9	*	*
纯误差	4	0.000 0	0.000 0		
合计	31	43.001 5			

$$V_s = 141.2 - 1.433 6A - 1.021B - 0.316 3C + 0.042D + 1.724E + 0.001 837B \times B + 0.018 77A \times C + 0.000 740B \times C + 0.000 579B \times D - 0.020 26D \times E \quad (1)$$

从表5中的P值可以看出,一次项中的A,B,C对体积收缩率的效应极显著($P < 0.001$),E对体积收缩率的效应显著($P < 0.05$);平方项中的B×B对体积收缩率的效应极显著($P < 0.001$);交互项中A×C,B×C,D×E对体积收缩率的效应极显著($P < 0.001$)。由F值可知,在试验范围内各因素对体积收缩率影响大小依次为 $A > C > B > E > D$ 。

4.2 响应曲面法求“翘曲变形量”最小值时方差分析计算结果

用同样的方法对表2、表4中“翘曲变形量”复合后的数据进行分析,求出翘曲变形量 W_d 回归方程(2)。

$$W_d = 5.88 - 0.010A + 0.007 10B + 0.005 15C - 0.185 4D + 0.385E + 0.000 631D \times D - 0.001 085A \times B + 0.000 564A \times C + 0.002 172A \times D + 0.000 199B \times D - 0.001 306B \times E - 0.000 643C \times E \quad (2)$$

通过分析可得,一次项中的A,C对翘曲变形量的效应极显著($P < 0.001$),B,D对翘曲变形量的效应显著($P < 0.05$);平方项中的D×D对翘曲变形量的效应显著($P < 0.05$);交互项中A×B,A×D,B×D,B×E对翘曲变形量的效应显著($P < 0.05$)。通过F值判定可知,在试验范围内各因素对翘曲变形量影响大小依次为 $A > C > B > D > E$ 。

4.3 多响应优化

基于前文求得的体积收缩率和翘曲变形量的回归方程,通过 Minitab“响应曲面”中的“响应优化器”对模型进行多响应优化的求解。由于在生产时体积收缩率小于 5.5%、翘曲变形量小于 0.5 mm 即判定车窗装饰板合格,因此,在多响应优化求解时将体积收缩率和翘曲变形量的上限分别设置为 5.5% 和 0.5 mm,并且两者的响应优化目标均为“最小值”。由图 5 可知,多响应优化的结果为:注射时间 10 s,熔体温度 256.969 7 °C,模具温度 35 °C,保压压力 80.545 5%,保压时间 8 s。

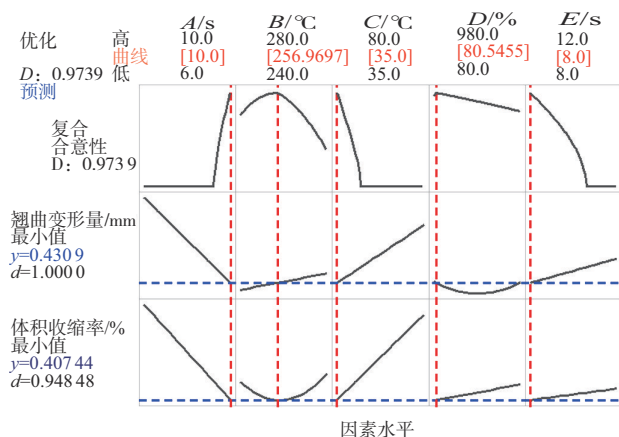


图5 多响应优化结果

4.4 多响应优化后的成型仿真

在 Moldflow 中设置 4.3 中优化结果的成型参数,并进行成型仿真。图 6 为优化后体积收缩率的仿真结果,可以看出塑件外表面上体积收缩率最大处在靠近浇口的位置,但未超过 1.5%;边角处均为负值,但均未小于-1.6%;最大值在流道上,但制品出模切除后不影响外观质量。图 7 为翘曲变形量的仿真结果,最大值在塑件的小三角尖端处,大部分区域都小于 0.3 mm。模拟结果能够满足质量要求。

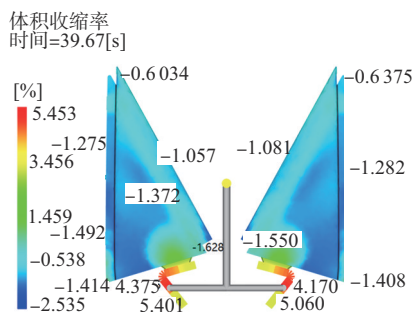


图6 优化后体积收缩率仿真结果

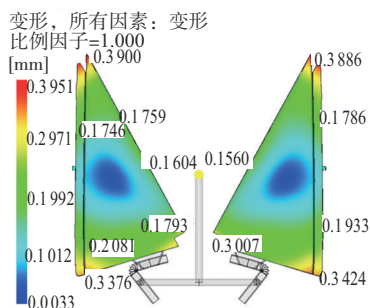


图7 优化后翘曲变形量仿真结果

5 生产验证

图8是运用优化后的成型工艺进行注塑生产所得的塑件。可见汽车车窗装饰板没有发生较为明显的收缩和翘曲变形,上表面高亮光洁,且无熔接痕、缩孔、飞边等成型缺陷,说明浇口方案和响应曲面法的多响应优化结果能够满足企业实际生产要求。



图8 汽车车窗装饰板塑件图

6 结论

(1)利用 Moldflow 对浇口的 4 个方案进行成型仿真,将体积收缩率和翘曲变形量作为衡量方案优劣的指标,得到最优方案为短边大浇口方案。

(2)利用 Minitab 软件设计析因试验方案,并进行数据处理。响应是“体积收缩率”和“翘曲变形量”的方差分析计算结果中弯曲项的 P 值分别为 0.001 和 0.015,且主效应图中的中心点均不在直线上,判断出回归方程具有明显的非线性特征。

(3)在析因设计的基础上追加响应曲面的序贯试验,得到了体积收缩率和翘曲变形量的回归方程。在此基础上利用响应优化器对塑件的体积收缩率和翘曲变形量的最小化目标进行多响应优化。优化结果为:注射时间 10 s,熔体温度 256.969 7℃,模具温度 35℃,保压压力 80.545 5%,保压时间 8 s。通过生产验证了试验方案的合理性,为同类产品注塑工艺的制定提供了有益的参考。

参考文献

- [1] 王晓东,王权,郑佳玉,等.基于GA-BP神经网络的注塑质量与能耗的工艺参数优化[J].工程塑料应用,2023,51(2):67-73.

Wang Xiaodong, Wang Quan, Zheng Jiayu, et al. Optimization of injection molding parameters for quality and energy consumption based on genetic algorithm and BP neural network[J]. Engineering

- Plastics Application, 2023, 51(2):67-73.
- [2] 宋山,李志永,柴明霞,等.基于Moldflow的饮水机出水口开关注塑模具冷却水路的优化设计[J].塑料,2022,51(4):46-51.
Song Shan, Li Zhiyong, Chai Mingxia, et al. Optimal design of conformal cooling channel for outlet switch mold of plastic injection water dispenser based on Moldflow[J]. Plastics, 2022, 51(4): 46-51.
- [3] 胡祚麻,刘淑梅,毛欣然,等.基于响应面法的汽车接插件翘曲变形优化[J].上海工程技术大学学报,2021,35(2):113-117.
Hu Zuoxiu, Liu Shumei, Mao Xinran, et al. Warpage optimization of automobile connector based on response surface method[J]. Journal of Shanghai University of Engineering Science, 2021, 35(2):113-117.
- [4] 叶星,汪健,李兵兵,等.基于Moldflow的连接过渡管成型质量分析及模具设计[J].工程塑料应用,2023,51(3):88-93.
Ye Xing, Wang Jian, Li Bingbing, et al. Moulding quality analysis and mould design of connecting transition pipe based on Moldflow[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(3):88-93.
- [5] 郭欢欢,王培安.基于多目标变速注塑缺陷分析及参数优化[J].塑料,2021,50(3):125-131.
Guo Huanhuan, Wang Pei'an. Analysis of injection defects and parameter optimization based on multi-target gearshift[J]. Plastics, 2021, 50(3):125-131.
- [6] 谭安平,辛晋渝,刘克威.汽车前大灯配光镜的注射成型数值模拟与工艺优化[J].塑料,2022,51(5):13-17.
Tan Anping, Xing Jinyu, Liu Kewei. Numerical simulation and process optimization of injection moulding for automobile head lamp optical distribution mirror[J]. Plastics, 2022, 51(5):13-17.
- [7] 张建鹏,王权,赵笑梅,等.基于DOE的薄壁双色鼠标外壳多目标工艺参数优化[J].塑料工业,2021,49(10):66-71.
Zhang Jianpeng, Wang Quan, Zhao Xiaomei, et al. Multi-objective process parameter optimization of thin-walled bi-color mouse shell based on DOE[J]. China Plastics Industry, 2021, 49(10):66-71.
- [8] 宁敬威,林立,刘文,等.双头螺旋内齿轮精密注塑冷却工艺优化[J].工程塑料应用,2022,50(7):79-85.
Ning Jingwei, Lin Li, Liu Wen, et al. Optimization of precision injection cooling process for double-headed spiral internal gear[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(7):79-85.
- [9] 吴俊超,黄帅,邓锐,等.基于Moldflow的轿车后视镜镜框注塑工艺优化[J].工程塑料应用,2022,50(7):71-78,98.
Wu Junchao, Huang Shuai, Deng Rui, et al. Optimization of injection molding process for car rearview mirror frame based on moldflow[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(7):71-78, 98.
- [10] 汪五二.六西格玛DMAIC理论与实践[M].北京:中国标准出版社,2019.
Wang Wuer. Theory and practice of six sigma DMAIC[M]. Beijing: Standards Press of China, 2019.
- [11] 葛宜元.试验设计方法与Design-Expert软件应用[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2015.
Ge Yiyuan. Experimental design method and application of design-expert software[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2015.
- [12] 成启明.基于计算机辅助设计的机箱CD-ROM挡板注塑成型工艺参数优化[J].塑料科技,2022,50(8):93-97.
Cheng Qiming. Optimization of injection molding process parameters of chassis CD-ROM baffle based on computer aided design[J]. Plastics Science and Technology, 2022, 50(8):93-97.
- [13] 唐杰,黄荣学,王全亮,等.基于Moldflow汽车灯罩翘曲分析与优化[J].塑料,2020,49(6):137-142.
Tang Jie, Huang Rongxue, Wang Quanliang, et al. Warpage analysis and optimization of automotive lampshade based on Moldflow[J]. Plastics, 2020, 49(6):137-142.
- [14] 吕英海,于昊,李国平.试验设计与数据处理[M].北京:化学工业出版社,2021.
Lyu Yinghai, Yu Hao, Li Guoping. Experimental design and data processing[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2021.
- [15] 傅建钢.基于响应面模型的注塑件精密成型工艺优化[J].合成树脂及塑料,2021,38(2):58-61.
Fu Jiangang. Optimization for injection molding process based on response surface model[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2021, 38(2):58-61.
- [16] 凌杰,刘强,徐晓鸣.基于响应曲面法与Moldflow的热固性塑料反应注塑工艺参数优化[J].塑料工业,2021,49(9):67-71.
Ling Jie, Liu Qiang, Xu Xiaoming. Optimization of process parameters for reactive injection molding of thermosetting plastics based on response surface methodology and Moldflow[J]. China Plastics Industry, 2021, 49(9):67-71.