

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.09.014

汽车仪表内饰件注塑成型工艺的多目标优化

方明月,张宇,王彻,黄永跃

(安徽信息工程学院机械工程学院,安徽芜湖 241100)

摘要:以汽车仪表内饰件为研究对象,针对制件在注塑成型过程中出现的翘曲和体积收缩问题,通过正交试验设计和灰色关联分析进行优化,利用Moldflow软件进行模流分析。选择模具温度、熔体温度、冷却时间、保压压力、保压时间和注射时间6个工艺参数为水平因素,以翘曲量和体积收缩率为质量评价指标进行25组正交试验,通过极差分析得到了翘曲量最优的工艺参数和体积收缩率最优的工艺参数,对两组工艺参数进行仿真分析得出:翘曲量最优为1.174 mm,但对应体积收缩率为14.51%,数值较大;体积收缩率最优为12.24%,但对应翘曲量为2.118 mm,数值较大。利用灰色关联分析将优化翘曲量和体积收缩率的多目标问题转化为单目标问题,得到了翘曲量和体积收缩率同时最优的工艺参数:模具温度40℃,熔体温度240℃,冷却时间25 s,保压压力80 MPa,保压时间20 s,注射时间0.8 s,对应的翘曲量为1.431 mm,体积收缩率为12.42%。对比两种方案优化效果可知,灰色关联分析方案的优化效果更好,与默认工艺参数相比,翘曲量和体积收缩率分别降低了46.44%和23.71%。对制件进行试生产,得到的试模样件质量满足生产要求,进一步验证了灰色关联分析优化方案的可行性。

关键词:汽车仪表内饰件;正交试验;灰色关联分析;工艺参数优化;翘曲量;体积收缩率

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)09-0083-07

Multi-objective Optimization of Injection Molding Process for Interior Trim of Automobile Instrument

Fang Mingyue, Zhang Yu, Wang Che, Huang Yongyue

(School of Mechanical Engineering, Anhui Institute of Information Technology, Wuhu 241100, China)

Abstract : Taking the interior trim of automobile instrument as the research object, aiming at the problems of warpage and volume shrinkage in the injection molding process, the optimization was carried out through orthogonal design of experiments and gray correlation analysis, and the mold flow analysis was carried out using Moldflow software. Selecting six process parameters, namely mold temperature, melt temperature, cooling time, holding pressure, holding time, and injection time as horizontal factors, 25 sets of orthogonal experiments were conducted with warpage and volume shrinkage as quality evaluation indicators. The optimal process parameters for warpage and volume shrinkage were obtained through range analysis. Simulation analysis of the two sets of process parameters show that the optimal warpage is 1.174 mm, but the corresponding volume shrinkage rate is 14.51%, which is relatively large. The optimal volume shrinkage rate is 12.24%, but the corresponding warpage is 2.118 mm, which is a large value. The multi-objective problem of optimizing warpage and volume shrinkage was transformed into a single objective problem using grey correlation analysis. The optimal process parameters for both warpage and volume shrinkage were obtained; mold temperature 40 °C, melt temperature 240 °C, cooling time 25 seconds, holding pressure 80 MPa, holding time 20 seconds, injection time 0.8 seconds, corresponding warpage of 1.431 mm, and volume shrinkage of 12.42%. Comparing the optimization effects of the two schemes, it can be seen that the grey correlation analysis scheme has better optimization effects. Compared with the default process parameters, the warpage and volume shrinkage have been decreased by 46.44% and 23.71%, respectively. The trial production of the parts was carried out, and the quality of the obtained trial mold samples met the production requirements, further verifying the feasibility of the grey correlation analysis optimization plan.

Keywords : interior trim of automobile instrument ; orthogonal test ; grey correlation analysis ; process parameters optimization ; warpage deformation ; volume shrinkage rate

基金项目: 安徽信息工程学院青年科研基金项目(22QNJKJ008),安徽省高等学校自然科学研究项目(KJ2021A1205),安徽省教育厅教育科学研究项目-机械设计制造及其自动化项目(2020ylzyjsd02)

通信作者: 张宇,教授,高级工程师,主要研究方向为机械设计与制造、工艺系统集成、模具制造

收稿日期: 2023-06-28

引用格式: 方明月,张宇,王彻,等.汽车仪表内饰件注塑成型工艺的多目标优化[J].工程塑料应用,2023,51(9):83-89.

Fang Mingyue, Zhang Yu, Wang Che, et al. Multi-objective optimization of injection molding process for interior trim of automobile instrument[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(9): 83-89.

塑料制件无论是在日常生活中、建筑业还是航空航天领域应用都十分广泛,随着我国制件业的发展迅速,人们对塑料制件的质量要求越来越高,在外观和使用性能等方面提出了新的要求。研究发现,影响塑料制件质量的因素有很多,其中最重要的因素就是对工艺参数的控制,若这些工艺参数控制不好,就会导致制件出现翘曲变形和体积收缩过大、熔体短射以及困气等成型缺陷,因此对工艺参数的研究变得尤为重要。如何确定工艺参数对制件质量评价指标的影响趋势、制件质量特性指标与工艺参数之间的定量关系以及如何优化和控制工艺参数等都是当前该领域待解决的一大难题。

丁华锋等^[1]运用Moldflow仿真软件对车灯后盖的成型过程进行模流分析,设计正交试验,以工艺参数作为水平因素,翘曲量作为质量评价指标,得到较优工艺参数方案。谭安平^[2]利用CAE仿真软件的最佳浇口模块分析汽车前大灯配光镜最佳进胶点,采用正交实验研究工艺参数对翘曲量的影响,得到了最佳成型工艺参数。吴延艳等^[3]对电磁驱动器冷却罩进行注塑工艺参数优化,采用正交实验设计研究注塑工艺参数对翘曲量、注射压力以及缩痕估算结果的影响程度,验证工艺的合理性。Wang等^[4]为了获得立面聚丙烯瓶注塑工艺参数的最佳组合,通过正交试验对制件进行优化分析,得到各工艺参数对各优化方向的影响顺序。采用综合加权评分法将注塑工艺多目标优化问题转化为优化问题,最终得到最佳参数组合。Rosli等^[5]通过响应面方法确定薄壁制件加工参数的最佳设置。选择熔化温度、模具温度、注射压力和型腔布局作为加工参数,并选择聚氨酯材料进行研究,最终达到优化参数的目的。

以上研究为实际的注塑成型参数优化提供了重要参考,具有较高的工程应用价值。基于以上研究,笔者以汽车仪表内饰件为例,通过Moldflow软件对注塑过程进行模流分析,采用正交试验设计和灰色关联分析对汽车仪表内饰件的注塑工艺参数进行研究,通过正交试验设计试验方案,通过极差分析找到翘曲量和体积收缩率较小的两组工艺参数;在正交试验的试验数据基础上,通过灰色关联分析将优化体积翘曲量和体积收缩率的多目标问题转为单目标优化问题,以灰色关联度为优化目标,通过极差分析得到翘曲量和体积收缩率同时较小的一组工艺参数。对两种优化方法的试验结果

进行对比,选择最佳优化方案,为汽车仪表内饰件的实际加工提供理论支持。

1 汽车仪表内饰件初步仿真分析

1.1 工艺性分析

汽车仪表内饰件三维模型如图1所示,制件尺寸为398.4 mm×207.3 mm×32 mm,整体左右对称,内部结构较为复杂,设置许多加强筋以及许多微小结构,例如小凸台、倒直角、倒圆角。材料选择丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)(牌号NC100G20),其成型工艺推荐为模具温度25~80℃,模具表面温度为50℃,熔体温度为200~280℃,顶出温度为88℃,剪切速率最大值为12 000 s⁻¹,剪切应力最大值为0.28 s⁻¹。为避免仪表信号灯之间的串光,保证仪表内饰件装配后,零件与零件之间有良好的贴合度,需要控制汽车仪表内饰件的翘曲量和体积收缩率的大小。

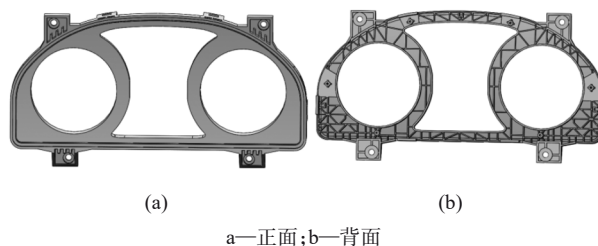


图1 汽车仪表内饰件三维模型

1.2 网格划分

对制件模型进行网格划分,网格类型选择双层网格,图2为汽车仪表内饰件的网格模型。对网格进行统计可知,三角形数76 136,已连接的节点38 044,网格匹配度91.9%,网络最大纵横比11.97,配向不正确单元和完全重叠单元数都为0,连通区域1个,满足制件的翘曲分析条件^[6]。

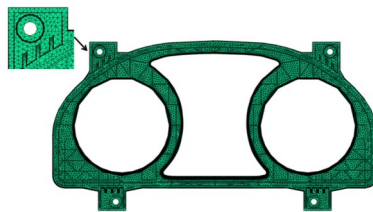


图2 汽车仪表内饰件网格模型

1.3 浇口位置选择

浇口位置的选择在仿真分析过程中至关重要,合理的浇口位置可以减少熔融塑料在模具型腔的填充时间,降低流动前沿温度差以及改善气穴、缩痕、熔接线等质量缺陷。在仿真过程中,将软件分

析序列选择为浇口位置,系统自动生成制件的较优浇口匹配云图^[7],如图3所示。

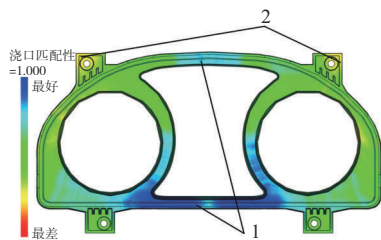


图3 较优浇口匹配云图

通过最佳浇口匹配云图可知,区域2为浇口匹配性最差的位置,区域1为浇口匹配性最好的位置,因此最佳浇口位置分布在制件的区域1位置,该结果仅作为选择浇口位置时的参考,具体位置需要结合制件的结构特点以及模具的结构形状^[8]。

1.4 浇注系统及冷却系统的确定

根据最佳浇口匹配云图和仪表内饰件的结构特点设计浇注系统,设置浇口个数为3,分布在匹配云图推荐区域;浇注系统主流道形状为圆锥形,小端直径取6 mm,锥角为2°,高度为60 mm;一级分流道形状为圆柱面,二级分流道的形状为圆锥形;浇口结构类型为点浇口,由于两端存在较大的压力差,填充过程中有较大的剪切热,使熔体的流动性变好,有利于薄壁制件的型腔填充,点浇口尺寸为直径为1 mm,锥度为6°,高度为1 mm,具体浇注系统如图4a所示。

由于仪表内饰件为浅型制件,上端冷却系统采用直流循环式冷却水道,该形式的水道结构较简单,加工方便,水管直径为10 mm,水管与制件之间的距离为20 mm。制件下端由于需要对模具顶针部分进行让位,因此选择随形流道,水管直径为10 mm,水管与制件之间的距离为20 mm,具体冷却系统设计如图4b所示。

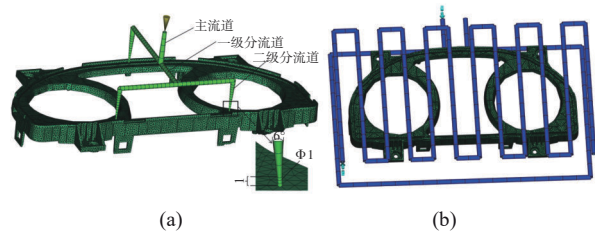


图4 浇注系统图和冷却系统图

1.5 翘曲分析

分析序列为冷却+填充+保压+翘曲,将注塑工艺参数设置成系统默认值,具体数值如下:熔体温

度为230℃,模具温度为50℃,注射时间1.6 s,保压时间为10 s,保压压力47 MPa,冷却时间20 s。对制件进行模流分析,得到翘曲量和体积收缩率的分析结果,如图5所示。由图5可知,区域A和区域B分别为翘曲量和体积收缩率较大区域和较小区域:两端的翘曲量最大,中间位置翘曲量最小,是由于制件两端冷却不均和收缩不均等导致的变形,制件的最大翘曲量为2.672 mm;制件边缘部分体积收缩率较大,靠近浇口位置体积收缩率较小,是由于制件边缘部分离浇口位置较远导致保压较弱,最大体积收缩率为16.28%。

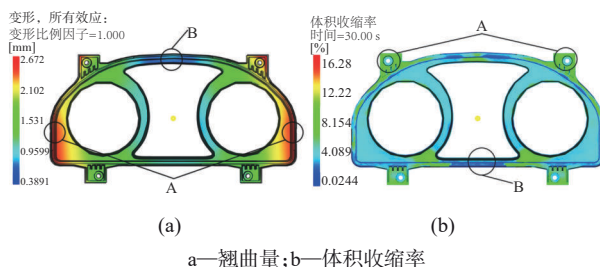


图5 工艺参数默认值下的翘曲量和体积收缩率

2 正交试验设计

导致翘曲量和体积收缩缺陷的因素非常多,在制件的形状、模具结构和材料等相同的情况下,成型工艺参数是影响翘曲量和体积收缩的主要因素,因此优化成型工艺参数是改善制件表面质量的有效手段^[9]。模具温度、熔体温度、冷却时间、保压压力、保压时间和注塑时间等工艺参数影响熔融塑料在型腔内的热流变行为,最终影响制件的翘曲量和体积收缩率^[10]。

2.1 正交试验设计

根据仪表内饰件实际注塑经验,笔者选择最主要的工艺参数模具温度(A)、熔体温度(B)、冷却时间(C)、保压压力(D)、保压时间(E)和注塑时间(F)作为正交试验设计的试验因素^[11]。在成型工艺参数合理范围内选择5个水平值,各参数设置情况见表1。

表1 因素水平表

水平	因素					
	A/℃	B/℃	C/s	D/MPa	E/s	F/s
1	40	240	15	40	10	0.8
2	50	250	20	50	15	1.0
3	60	260	25	60	20	1.2
4	70	270	30	70	25	1.4
5	80	280	35	80	30	1.6

通过正交试验水平设计,可得到 $L_{25}(5^6)$ 正交试验表,利用Moldflow软件进行25次模流分析,仿真

结果见表2。由表2可知,最优的翘曲量为1.310 mm,对应的体积收缩率和工艺参数组合分别为14.61%和 $A_1B_5C_5D_5E_5F_5$,最优的体积收缩率为12.76%,对应的翘曲量和工艺参数组合分别为1.98 mm和 $A_5B_1C_5D_4E_3F_2$,与初步仿真结果相比,翘曲量和体积收缩率都有所改善。

表2 正交试验仿真结果

实验 编号	因素						指标	
	A	B	C	D	E	F	翘曲量/ mm	体积收缩 率/%
1	40	240	15	40	10	0.8	2.431	13.04
2	40	250	20	50	15	1.0	1.846	13.25
3	40	260	25	60	20	1.2	1.469	13.69
4	40	270	30	70	25	1.4	1.371	14.19
5	40	280	35	80	30	1.6	1.310	14.61
6	50	240	20	60	25	1.6	1.930	12.97
7	50	250	25	70	30	0.8	1.752	12.83
8	50	260	30	80	10	1.0	2.313	15.89
9	50	270	35	40	15	1.2	1.941	14.63
10	50	280	15	50	20	1.4	1.624	15.10
11	60	240	25	80	15	1.4	1.614	13.62
12	60	250	30	40	20	1.6	2.106	13.58
13	60	260	35	50	25	0.8	1.894	13.51
14	60	270	15	60	30	1.0	1.686	14.21
15	60	280	20	70	10	1.2	2.663	18.97
16	70	240	30	50	30	1.2	2.200	12.84
17	70	250	35	60	10	1.4	2.736	17.44
18	70	260	15	70	15	1.6	2.061	17.95
19	70	270	20	80	20	0.8	1.434	13.89
20	70	280	25	40	25	1.0	1.891	14.77
21	80	240	35	70	20	1.0	1.980	12.76
22	80	250	15	80	25	1.2	1.667	13.44
23	80	260	20	40	30	1.4	2.250	14.14
24	80	270	25	50	10	1.6	3.132	18.39
25	80	280	30	60	15	0.8	2.220	14.64

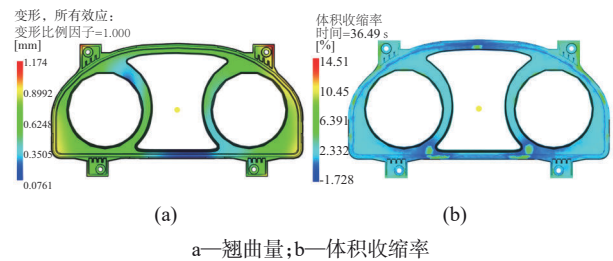
2.2 正交试验结果分析

为了方便观察各成型工艺参数对质量评价指标的影响趋势,对表2的数据进行进一步的处理,得到极差分析结果,见表3。 $\bar{T}_i(i=1,2,3,4,5)$ 表示某一工艺参数的不同水平对应翘曲量的平均值; $\bar{J}_i(i=1,2,3,4,5)$ 表示某一工艺参数的不同水平对应体积收缩率的平均值; R 表示某一工艺参数的不同水平对应翘曲量或体积收缩率的平均值最大值与最小值之差。由表3可知:当工艺参数 A 为40℃, B 为270℃, C 为15 s, D 为80 MPa, E 为20 s, F 为1.4 s时,即工艺参数组合为 $A_1B_4C_1D_5E_3F_4$,翘曲量最优。当工艺参数 A 为40℃, B 为240℃, C 为30 s, D 为40 MPa, E 为30 s, F 为0.8 s时,即工艺参数组合为 $A_1B_1C_4D_1E_5F_1$,体积收缩率最优。

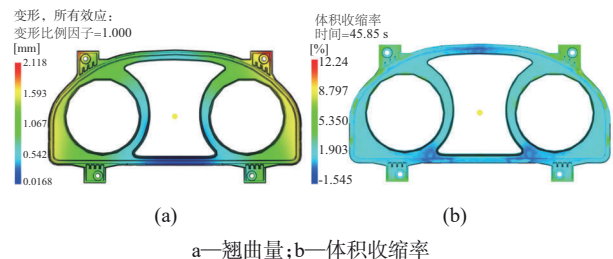
表3 正交试验极差分析

优化目标	均值	A	B	C	D	E	F
翘曲量	$\bar{T}_1$	1.685	2.031	1.894	2.124	2.655	1.946
	$\bar{T}_2$	1.912	2.021	2.025	2.139	1.936	1.943
	$\bar{T}_3$	1.993	1.997	1.972	2.008	1.723	1.988
	$\bar{T}_4$	2.064	1.913	2.042	1.965	1.751	1.919
	$\bar{T}_5$	2.250	1.942	1.972	1.668	1.840	2.108
	R	0.564	0.118	0.148	0.472	0.932	0.189
体积收缩率	$\bar{J}_1$	13.756	13.046	14.748	14.032	16.746	13.582
	$\bar{J}_2$	14.284	14.108	14.644	14.618	14.818	14.176
	$\bar{J}_3$	14.778	15.036	14.66	14.59	13.804	14.714
	$\bar{J}_4$	15.378	15.062	14.228	15.34	13.776	14.898
	$\bar{J}_5$	14.674	15.618	14.59	14.29	13.726	15.5
	R	1.622	2.572	0.52	1.308	3.02	1.918

将工艺参数组合 $A_1B_4C_1D_5E_3F_4$ 通过Moldflow软件进行仿真验证,得到图6的分析结果,结果表明得到的翘曲量在25组数据中是最优的,最优值为1.174 mm,但是此时的体积收缩率为14.51%,数值较大。

图6 $A_1B_4C_1D_5E_3F_4$ 工艺参数组合下的分析结果

将工艺参数组合 $A_1B_1C_4D_1E_5F_1$ 通过Moldflow软件进行仿真验证,得到图7的分析结果,表明得到的体积收缩率在25组数据中是最优的,最优值为12.24%,此时翘曲量为2.118 mm,数值较大。在正交试验下,翘曲量最优和体积收缩率最优的工艺参数并不相同,因此需要对工艺参数进行综合分析。

图7 $A_1B_1C_4D_1E_5F_1$ 工艺参数组合下的分析结果

3 灰色关联分析

为进一步优化汽车仪表内饰件的表面质量,通过灰色关联分析将优化体积翘曲量和体积收缩率的多目标问题转为单目标优化问题,以灰色关联度为优化目标,通过极差分析得到翘曲量和体积收缩

率同时最优的一组工艺参数^[12]。

3.1 灰色关联分析数据处理

灰色关联分析的基本原理是根据各个因素变化曲线的相似程度来判断因素之间的关联程度,曲线越相似,说明因素间的关联程度越高^[13]。

(1) 确定评价指标数据矩阵。

结合正交试验的数据,确定评价指标中的数值,通过公式(1),组成评价指标矩阵。

$$A = \begin{bmatrix} X_1(1) & X_1(2) & \dots & X_1(j) & \dots & X_1(m) \\ X_2(1) & X_2(2) & \dots & X_2(j) & \dots & X_2(m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_i(1) & X_i(2) & \dots & X_i(j) & \dots & X_i(m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_n(1) & X_n(2) & \dots & X_n(j) & \dots & X_n(m) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, m 为评价指标数量; n 为试验次数; $X_i(j)$ 为原始数据。

(2) 归一化处理。

一般情况下,原始数列量纲的不同以及变量之间差异较大会影响各个指标间的等效性,进而影响模型的精度^[14]。因此需利用对原始数列进行归一化处理,归一化处理公式如式(2)。

$$X_i^*(k) = \frac{\max_{\forall j} X_i(j) - X_i(j)}{\max_{\forall j} X_i(j) - \min_{\forall j} X_i(j)} \quad (2)$$

式中, $X_i^*(k)$ 为归一化处理后的数列; $\max_{\forall j} X_i(j)$ 为数据矩阵中的最大值; $\min_{\forall j} X_i(j)$ 为数据矩阵中的最小值; $X_i(j)$ 为数据矩阵中的向量; $X_{ob}(j)$ 为 $X_i(j)$ 的目标数值。

(3) 确定灰色关联系数。

计算灰色关联系数的公式见式(3):

$$\xi_i = \frac{\min(\Delta \min) + \rho \cdot \max(\Delta \max)}{\Delta_{0,i}(j) + \rho \cdot \max(\Delta \max)} \quad (3)$$

式中, ξ_i 为关联度系数; $\min(\Delta \min)$ 为参考序列和比较序列的最小绝对值中的最小; $\max(\Delta \max)$ 为参考序列和比较序列的最大绝对值中的最大; ρ 为分辨系数,一般取0.5; $\Delta_{0,i}(j)$ 为参考序列和比较序列的绝对值。

通过计算可以得到灰色关联系数矩阵 ξ ,见公式(4)所示:

$$\xi = \begin{bmatrix} \xi_{11} & \xi_{12} & \dots & \xi_{1m} \\ \xi_{21} & \xi_{22} & \dots & \xi_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \xi_{n1} & \xi_{n2} & \dots & \xi_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

(4) 灰色关联度的确定。

$$\gamma_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \xi_{ij}, (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

表2中的指标数据通过公式(1)~公式(5)进行处理,可以得到这两个质量评价指标的灰色关联度,见表4。

表4 翘曲量和体积收缩率的评价指标、关联系数和灰色关联度

序号	评价指标		归一化处理		关联系数		灰色关联度
	$X_i(1)$	$X_i(2)$	$X_i^*(1)$	$X_i^*(2)$	ξ_{i1}	ξ_{i2}	
1	2.431	13.04	0.709	0.055	0.413	0.901	0.657
2	1.846	13.25	0.392	0.095	0.560	0.840	0.560
3	1.469	13.69	0.131	0.177	0.793	0.738	0.766
4	1.371	14.19	0.052	0.268	0.907	0.651	0.779
5	1.310	14.61	0.000	0.341	1.000	0.594	0.797
6	1.930	12.97	0.444	0.041	0.530	0.924	0.727
7	1.752	12.83	0.333	0.014	0.600	0.973	0.787
8	2.313	15.89	0.651	0.553	0.434	0.475	0.455
9	1.941	14.63	0.450	0.345	0.526	0.592	0.559
10	1.624	15.10	0.246	0.425	0.671	0.541	0.606
11	1.614	13.62	0.239	0.164	0.676	0.752	0.714
12	2.106	13.58	0.544	0.157	0.479	0.761	0.620
13	1.894	13.51	0.423	0.144	0.542	0.776	0.659
14	1.686	14.21	0.289	0.271	0.633	0.648	0.641
15	2.663	18.97	0.814	1.000	0.381	0.333	0.357
16	2.200	12.84	0.594	0.016	0.457	0.969	0.713
17	2.736	17.44	0.844	0.788	0.372	0.388	0.380
18	2.061	17.95	0.519	0.861	0.491	0.367	0.429
19	1.434	13.89	0.103	0.214	0.829	0.700	0.765
20	1.891	14.77	0.420	0.369	0.543	0.575	0.559
21	1.980	12.76	0.473	0.000	0.514	1.000	0.757
22	1.667	13.44	0.276	0.131	0.644	0.792	0.718
23	2.250	14.14	0.620	0.259	0.447	0.659	0.553
24	3.132	18.39	1.000	0.922	0.333	0.352	0.343
25	2.220	14.64	0.605	0.347	0.452	0.591	0.522

3.2 灰色关联分析结果分析

对表4中的灰色关联度进行极差分析,见表5。灰色关联度的均值越大代表工艺参数越优,灰色关联度均值的最大值和最小值的差值越大代表工艺参数对质量评价指标(翘曲量和体积收缩率)的影响越大。由表5可知,灰色关联度均值最大的组合为 $A_1B_1C_3D_5E_3F_1$,较优工艺参数: A 为40℃, B 为240℃, C 为25s, D 为80MPa, E 为20s, F 为0.8s,利用Moldflow软件进行模流分析得到分析结果图如图10所示,翘曲量为1.431mm,体积收缩率为12.42%。

表5 灰色关联度的极差分析

水平	A	B	C	D	E	F
1	0.712	0.714	0.610	0.590	0.438	0.678
2	0.627	0.613	0.592	0.576	0.557	0.594
3	0.598	0.572	0.634	0.607	0.703	0.623
4	0.569	0.617	0.618	0.622	0.688	0.606
5	0.579	0.568	0.630	0.690	0.698	0.583
极差	0.143	0.145	0.041	0.114	0.264	0.095

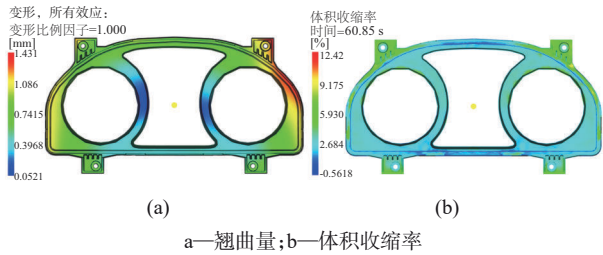


图10 $A_1B_1C_3D_3E_3F_1$ 工艺参数组合的体积收缩和翘曲量

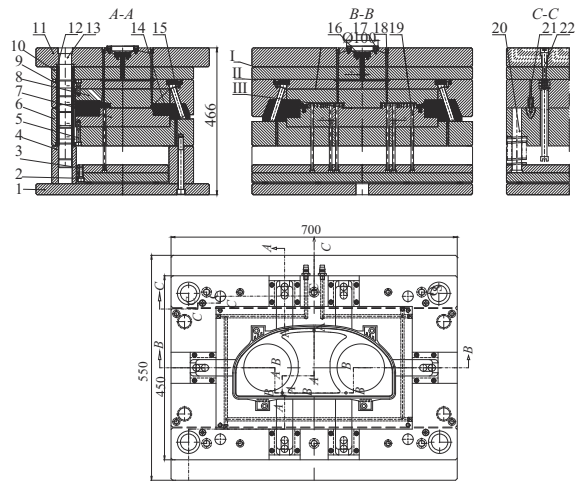
对比正交试验设计和灰色关联分析优化参数后的翘曲量和体积收缩率,见表6。由表6可知,灰色关联分析的最优工艺参数下的翘曲量和体积收缩率比正交试验设计的最优工艺参数下的结果稍大,但正交试验设计翘曲量最优和体积收缩率最优的工艺参数并不相同,翘曲量和体积收缩率难以同时达到最优,因此灰色关联分析的优化效果相对较好。灰色关联分析得到的工艺参数与默认推荐的工艺参数相比,翘曲量和体积收缩率分别降低了46.44%和23.71%,达到提高制件表面质量目的,满足制件对翘曲量的要求。

表6 正交试验和灰色关联度的评价指标对比

指标	工艺参数组合	翘曲量/mm	体积收缩率/%
初始默认工艺参数	/	2.672	16.28
基于正交试验的翘曲优化	$A_1B_4C_1D_3E_3F_4$	1.174	14.51
基于正交试验的体积收缩率优化	$A_1B_1C_4D_1E_5F_1$	2.118	12.24
灰色关联度分析	$A_1B_1C_3D_3E_3F_1$	1.431	12.42

4 注塑模具设计及工作原理

结合汽车仪表内饰件的结构及制件的浇注系统和冷却系统设计注塑模具,注塑模具采用侧抽芯机构的三板式模具结构,外形尺寸为550 mm×700 mm×466 mm,具体结构如图11所示。注塑成型时,通过定位环17的定位将注塑模与注塑机安装在一起,注塑机将熔融塑料由浇口套16进入,通过浇注系统填充到模具型腔内。经过保压和冷却后,对注塑模具开模,先打开分型面Ⅱ,在拉料杆18作用下,浇注系统和制件最先断开,之后浇注系统的废料从定模板9脱出,当小拉杆22端部碰到定模板9,此时



- 1—动模板底板;2—推板;3—推杆固定板;4—垫块;5—螺钉;
6—动模板;7—型芯;8—型腔;9—定模板;10—水口板;
11—定模板底板;12—导套;13—导柱;14—侧抽;15—斜导柱;
16—浇口套;17—定位圈;18—拉料杆;19—推杆;20—复位杆;
21—阻尼销;22—小拉杆;I, II, III—分型面

图11 注塑模具装配图

分型面Ⅰ打开,浇注系统的废料从浇口套和拉料钉中脱落,动模板6和定模板9在阻尼销21的作用下分开,分型面Ⅲ打开,与此同时动作的还有侧抽芯结构,侧抽芯运动到与制件完全脱开才停止。侧抽芯运动完成后,将推动推板2使推杆19将制件推出;制件取出后,在复位弹簧的作用下注塑模具进行复位,动模板6和定模板9进行重新合模,进行下一个工作循环。

对注塑模具进行制作、安装和调试,在注塑机上设置灰色关联分析优化后的工艺参数组合,对汽车仪表内饰件进行试生产,得到的试模样件如图12所示。观察试模样件可知,其表面光滑,并未出现短射、缩痕、破裂等质量缺陷,经检测翘曲量和体积收缩率满足生产的要求。



图12 试模样件

5 结论

(1)利用Moldflow软件对汽车仪表内饰件的浇注系统和冷却系统进行设计,并进行翘曲分析得到了默认工艺参数下的翘曲量为2.672 mm和体积收

缩率为16.28%。制件的质量缺陷较大,有待进一步改善。

(2)采用正交试验设计对工艺参数进行优化,得到翘曲量和体积收缩率分别较优的两组工艺参数。通过Moldflow软件对这两组工艺进行模流分析,得到最小翘曲量为1.174 mm以及对应的体积收缩率14.51%,最小体积收缩率为12.24%以及对应的翘曲量2.118 mm。翘曲量最优的工艺参数和体积收缩率最优的工艺参数并不相同,难以同时达到最优。

(3)通过灰色关联分析对工艺参数进行多目标优化,得到翘曲量和体积收缩率同时最优的一组工艺参数:模具温度40℃、熔体温度240℃、冷却时间25 s、保压压力80 MPa、保压时间20 s、注射时间0.8 s。对这组工艺参数进行模流分析,得到的翘曲量和体积收缩率分别为1.431 mm和12.42%。

(4)对比正交试验设计和灰色关联分析的优化结果,灰色关联分析具有较好优化效果。与默认工艺参数下仿真结果相比,灰色关联分析优化后的翘曲量和体积收缩率分别降低了46.44%和23.71%。通过实际试模,进一步验证了灰色关联分析对汽车仪表注塑成型工艺参数优化方案的可行性。

参考文献

- [1] 丁华锋,金先志,谷雨原,等.基于正交试验的车灯后盖壳体注塑成型工艺优化[J].合成树脂及塑料,2022,39(3):55-59.
Ding Huafeng, Jin Xianzhi, Gu Yuyuan, et al. Optimization of injection molding process for rear cover of lamp based on orthogonal test [J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2022, 39(3):55-59.
- [2] 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.
- [3] 吴延艳,唐银敏,李自纳.基于计算机辅助工程的电磁驱动器冷却罩注塑工艺优化[J].塑料科技,2022,50(4):94-98.
Wu Yanyan, Tang Yinmin, Li Zina. Optimization of injection processing parameters of cooling cover of electromagnetic driver based on computer aided engineering[J]. Plastics Science and Technology, 2022, 50(4):94-98.
- [4] Wang Youmin, Yan Zhichao, Shan Xuejun. Optimization of process parameters for vertical-faced polypropylene bottle injection molding[J]. Advances in Materials Science and Engineering, 2018, 1-9. DOI:10.1155/2018/2635084.
- [5] Rosli M U, Rosli M U, Ahmad Termizi S N A, et al. Simulation based optimization of thin wall injection molding parameter using response surface methodology[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 864(1). DOI: 10.1088/1757-899X/864/1/012193.
- [6] 江丽珍,梁秋华,潘健怡,等.基于正交试验的汽车档位杆注塑工艺参数优化[J].中国塑料,2019,33(7):50-56.
Jiang Lizhen, Liang Qiuhua, Pan Jianyi, et al. Optimization of injection molding process parameters for automobile gearlever based on orthogonal experiment[J]. China Plastics, 2019, 33(7): 50-56.
- [7] 方明月,唐铃凤,郭富城.基于Moldflow的汽车手柄浇口位置优化设计[J].新乡学院学报,2020,37(3):48-52,76.
Fang Mingyue, Tang Lingfeng, Guo Fucheng. The optimization design of gate position of automobile handle based on moldflow[J]. Journal of Xinxiang University, 2020, 37(3):48-52, 76.
- [8] 张节群.基于正交试验与CAE模拟的烟雾报警器外壳翘曲优化分析[J].塑料科技,2021,49(6):87-91.
Zhang Jiequn. Optimization analysis of the shell warpage of smoke alarm based on orthogonal test and CAE simulation[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(6):87-91.
- [9] 邱彤,刘泓滨,代元祥,等.基于正交实验与响应曲面法的透镜注塑压缩成型工艺参数的多目标优化试验[J].塑料工业,2021,49(11):70-73.
Qiu Tong, Liu Hongbin, Dai Yuanxiang, et al. Multi-objective optimization experiment of lens injection compression molding process parameters based on the orthogonal and response surface method [J]. China Plastics Industry, 2021, 49(11):70-73.
- [10] 胡沛玮,齐洪方,王健伟.基于注塑成型工艺参数优化的电气控制盒低平面度设计[J].塑料科技,2021,49(7):85-90.
Hu Peiwei, Qi Hongfang, Wang Jianwei. Low flatness design of electrical control box based on process parameter optimization of injection molding[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(7):85-90.
- [11] 段家现,申毅莉,刘兆红.基于层次分析和灰色关联分析的注塑工艺多目标优化[J].中国塑料,2015,29(7):80-85.
Duan Jiaxian, Shen Yili, Liu Zhaozhong. Multi-objective optimization of injection molding process based on AHP and GRA[J]. China Plastics, 2015, 29(7):80-85.
- [12] 张庆,葛东东,何也能.基于NSGA-II和熵权TOPSIS法的注塑工艺参数多目标优化[J].塑料工业,2022,50(9):95-100,197.
Zhang Qing, Ge Dongdong, He Yenang. Multi-objective optimization of injection molding process parameters based on nsga-ii algorithm and entropy weight TOPSIS method[J]. China Plastics Industry, 2022, 50(9):95-100, 197.
- [13] 黄海松,张鲁滨,姚立国.基于灰色关联分析的注塑成型工艺多目标优化[J].塑料科技,2019,47(1):104-110.
Huang Haisong, Zhang Lubin, Yao Ligu. Multi-objective optimization of injection molding process based on grey relational analysis[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(1):104-110.
- [14] 薛茂远,梅益,唐芳艳,等.基于灰色关联分析的注塑工艺多目标优化及PSO-SVM预测模型的建立[J].工程塑料应用,2021,49(3):58-64.
Xue Maoyuan, Mei Yi, Tang Fangyan, et al. Multi-objective optimization of injection molding process based on grey relational analysis and establishment of PSO-SVM prediction model[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(3):58-64.