

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.12.011

基于灰色关联理论的副仪表板扶手底座注塑 工艺多目标优化

周纪委¹, 郭昊亮², 张文超¹, 王明伟¹, 林连明³

(1. 大连工业大学机械工程与自动化学院, 辽宁大连 116034; 2. 北京精雕科技集团有限公司苏州分公司, 江苏苏州 215163;
3. 浙江凯华模具有限公司, 浙江台州 318020)

摘要:以副仪表板扶手底座为研究对象, 针对塑件在成型过程中出现的区域收缩翘曲变形量和体积收缩问题, 选取聚丙烯(PP)+滑石粉(Talc)材料在Moldex3D模流分析软件中进行模拟分析。以模具温度、熔体温度、冷却时间、保压时间、保压压力5个工艺参数为试验水平进行16组正交试验设计, 得到每组试验下的区域收缩翘曲变形量和体积收缩率并进行信噪比优化处理。根据正交试验结论建立各工艺参数与塑件质量的灰色关联理论模型, 通过对灰色关联度值极差分析得到5个工艺参数影响副仪表板扶手底座区域收缩翘曲变形量和体积收缩率的大小排序: 保压压力>熔体温度>冷却时间>模具温度>保压时间; 最佳工艺参数组合为: 模具温度30℃、熔体温度210℃、冷却时间17 s、保压时间13 s、保压压力160 MPa。将最佳工艺参数组合再次进行模拟, 得到塑件的区域收缩翘曲变形量为0.501 mm, 体积收缩率为3.886%。比默认分析下改善了43.6%和4.96%, 产品质量得到明显提高。

关键词: 副仪表板扶手底座; Moldex3D模流分析; 注塑成型; 正交试验; 灰色关联度; 工艺参数优化

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)12-0061-06

Multi-objective Optimization of Sub-dashboard Armrest Base Injection Molding Process based on Gray Correlation Theory

Zhou Jiwei¹, Guo Haoliang², Zhang Wenchao¹, Wang Mingwei¹, Lin Lianming³

(1. School of Mechanical Engineering and Automation, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China; 2. Suzhou Branch of Beijing Jingdiao Technology Group Co., Ltd., Suzhou 215163, China; 3. Zhejiang Kaihua Mould Co., Ltd., Taizhou 318020, China)

Abstract: Taking the sub-dashboard armrest base as the research object, in view of the problem of regional shrinkage warpage deformation and volume shrinkage of plastic parts in the molding process, polypropylene (PP) and talc powder materials were selected for simulation analysis in Moldex3D mould flow analysis software. Based on the five process parameters of mould temperature, melt temperature, cooling time, packing time and packing pressure, 16 groups of orthogonal experimental design were carried out at the test level, and the area shrinkage warpage deformation and volume shrinkage rate under each set of tests were obtained, and the signal-to-noise ratio was optimized. According to the orthogonal test conclusions, the grey correlation theory model between each process parameter and the quality of the plastic part is established, and the size of the shrinkage warpage deformation and volume shrinkage of the five process parameters affecting the base area of the handrail of the sub-dashboard is obtained by analyzing the extreme difference of the gray correlation degree value as follows: packing pressure > melt temperature > cooling time > mould temperature > packing time. The best combination of process parameters is: mold temperature 30℃, melt temperature 210℃, cooling time 17 s, packing time 13 s, packing pressure 160 MPa. The best combination of process parameters is simulated again, and the regional shrinkage warpage deformation of the plastic part is 0.501 mm, and the volume shrinkage rate is 3.886%. Compared with the default analysis, it has improved by 43.6% and 4.96%, and the product quality has been significantly improved.

Keywords: sub-dashboard armrest base; Moldex3D analysis; injection molding; orthogonal test; gray correlation; process parameter optimization

基金项目: 辽宁“百千万人才工程”培养经费资助项目(辽百千万立项[2017]88号), 大学生创新创业训练计划项目(202110152246)

通信作者: 王明伟, 博士, 教授, 主要从事材料成型加工、智能制造等方面研究

收稿日期: 2022-10-15

引用格式: 周纪委, 郭昊亮, 张文超, 等. 基于灰色关联理论的副仪表板扶手底座注塑工艺多目标优化[J]. 工程塑料应用, 2022, 50(12): 61-66.

Zhou Jiwei, Guo Haoliang, Zhang Wenchao, et al. Multi-objective optimization of sub-dashboard armrest base injection molding process based on gray correlation theory[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(12): 61-66.

在现代社会高速发展下,交通出行对人们生活的影 响越来越大。而汽车作为受广大群众喜爱且使用率较高的一种交通工具,人们对汽车的外观和质量提出了更高的要求^[1]。在人们的这种需求下,汽车轻量化、降低能耗、减少尾气排放成为汽车制造业的一大发展趋势^[2]。汽车副仪表板扶手底座作为汽车的重要配件,使用塑料作为原材料不仅可以减轻汽车的质量以及保护汽车的安全,而且还可以使汽车空间内饰和谐统一。

在汽车副仪表板扶手底座实际注塑过程中,熔融塑料在模具型腔中将会受到内外因素的影响,易造成翘曲变形大、收缩、气穴、飞边等质量缺陷^[3]。同时注塑产品的质量不仅取决于材料本身具有的性能,而且还会受到模具结构、成型工艺参数的影响^[4]。为了提高注塑件的品质,国内外许多学者运用CAE技术对塑件成型过程进行模拟。Satoshi等^[5]研究了夹紧力与焊缝温度之间的关系,并以注射时间、熔体温度、模具温度、保压时间、保压压力、冷却时间为水平进行了多目标工艺参数优化,最终使焊缝减少。Mukras等^[6]重点研究了双凹结构和锐边的微小零件成型问题,通过田口试验方法,得到了影响微小零件生产的关键成型参数和最小收缩率。Sateesh等^[7]以熔体温度、模具温度和注射时间为因素,翘曲、体积收缩、循环时间和质量预测为目标设计了正交试验并对不同工艺参数的水表部件进行模流分析,获得了最佳工艺参数组合。吴俊超等^[8]学者通过Moldflow DOE功能结合响应面BBD试验设计的方法对轿车后视镜镜框注塑工艺参数进行了优化,确定了最优工艺参数组合。郭斌扬等^[9]在抑爆球注塑成型结果的基础上,建立了抑爆球多指标优化代理模型,并结合自适应模拟退火算法进行全局寻找最优性能。庄燕等^[10]为改善汽车扶手箱下盖板的成型质量,进行了拉丁超立方方案设计并在Moldflow中进行各组方案模拟,最后基于实验数据建立翘曲变形的回归方程并进行了优化。

笔者运用Moldex3D软件和正交试验对汽车副仪表板扶手底座成型过程中的不同工艺参数组合进行了模拟,并计算信噪比与灰色关联度值。通过灰色关联度分析对汽车副仪表板扶手底座进行了优化,从而提高了汽车副仪表板扶手底座塑件的品质。

1 模流分析

1.1 塑件分析与网格划分

汽车副仪表板扶手底座内饰件三维图见图1。其最大尺寸为340 mm×224 mm×63 mm,体积为207 cm³。产品结构较复杂,有加强筋、螺纹孔和凸台设计,平均壁厚为1.73 mm,最大壁厚为3.9 mm。汽车副仪表板扶手底座材料选用的是Borealis AG制造商生产的材料牌号为DAPLEN KSR 65 T 20 E1的20%滑石粉填充聚丙烯(PP)/20%Talc,该材料具有高强度、抗冲击、耐低温、方向性强等特性^[11]。

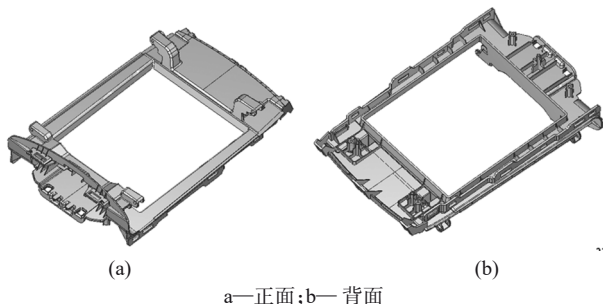


图1 汽车副仪表板扶手底座三维图

在Moldex3D Studio 2021软件中对塑件进行Solid网格划分,手动修复网格缺陷后,塑件网格元素数量为503 130个,塑件表面网格和实体网格无缺陷可进行模流分析。汽车副仪表板扶手底座网格模型如图2所示。

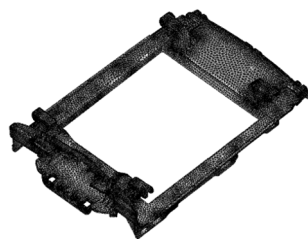


图2 汽车副仪表板扶手底座网格模型

1.2 浇注系统和冷却系统的建立

汽车副仪表板扶手底座的浇注系统和冷却系统如图3所示。主流道直径为16 mm,冷流道采用

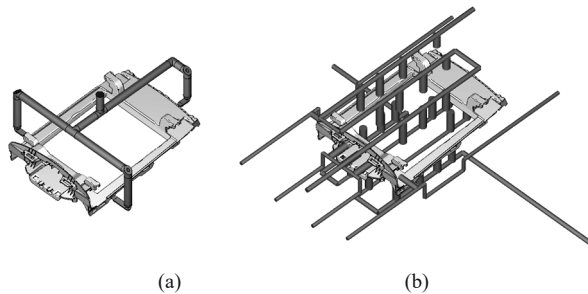


图3 浇注系统与冷却系统

U型分流道,尺寸为10 mm×8 mm。由于塑件表面质量要求高,浇口不能设在产品外观面,综合考虑在塑件侧面搭接扇形浇口。冷却系统是定模采用1组循环水路、动模采用3组循环水路,冷却介质为水。水路直径为8~10 mm,冷却水路温度为30℃。

1.3 默认参数分析

先在默认工艺条件(模具温度30℃、熔体温度220℃、冷却时间20 s、保压时间10 s、最大保压压力140 MPa)下进行完整分析(充填+保压+冷却+翘曲),模拟结果如图4所示。由图4a流动波前时间可知,熔胶在2.529 s时能够充填到塑件末端,没有出现短射或迟滞现象,充填时间较为合适。由图4b熔融区域可知,在保压时间10 s时浇口区域未能完全固化,而浇口未固化会造成塑件翘曲变形较大,凹痕较为严重,因此需要在优化时继续增加保压时间使其完全固化。由图4c~图4f可知体积收缩率为4.089%,翘曲总位移为1.151 mm,总温度差异效应位移为0.412 mm,总区域收缩差异效应位移为0.889 mm。塑件翘曲变形主要原因是成型过程中残余应力的释放,而塑件残余应力的产生因素为冷却不均匀、

收缩不均匀和分子纤维取向效应^[12-13]。由于此材料不含纤维,由图4e~图4f总温度差异效应位移与总区域收缩差异效应总位移对比可知,此汽车副仪表板扶手底座翘曲变形量主要由区域收缩不均匀引起的。故在对工艺参数进行优化时选择区域收缩翘曲变形量为其一优化指标,同时在注塑过程中还要求体积收缩率尽可能得小,因此,体积收缩率为另一优化指标。

2 正交试验

2.1 因素及水平设计

根据默认参数分析,以区域收缩翘曲变形量和体积收缩率为优化目标,模具温度(A)、熔体温度(B)、冷却时间(C)、保压时间(D)和保压压力(E)为正交因素。在不考虑相互作用下,每个因素设置4个水平,因素与水平正交表设置列于表1。

表1 正交试验因素水平设计

水平	因素				
	A/℃	B/℃	C/s	D/s	E/MPa
1	20	210	17	10	130
2	25	220	20	11	140
3	30	230	23	12	150
4	35	240	26	13	160

2.2 信噪比计算

信噪比值的大小与产品质量的好坏成正比,为了更好地评价塑件质量,故选择信噪比作为塑件质量的评价标准^[14]。信噪比有3种,分别是望目信噪比、望小信噪比和望大信噪比^[15-16]。而注塑产品要求较小的区域收缩翘曲变形和体积收缩率,因此选择望小信噪比。望小信噪比计算公式如式(1)。

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

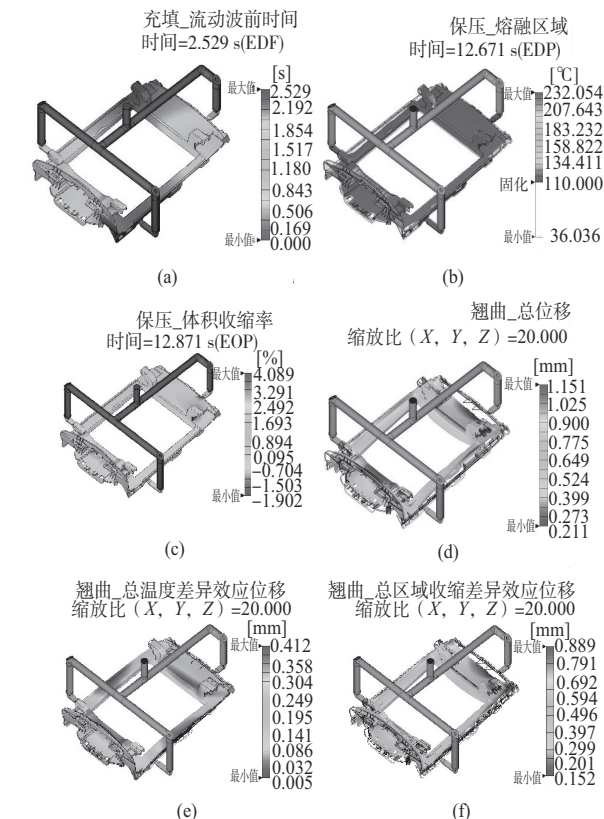
式中: n ——每一组试验重复的次数;

x_i ——第 i 次试验值。

2.3 正交试验结果分析

选用5因素4水平的正交试验矩阵 $L_{16}(4^5)$,并基于Moldex3D模流分析软件对塑件成型过程进行分析,得到模拟后的区域收缩翘曲变形量和体积收缩率。并根据公式(1)计算所对应的信噪比,得到的结果列于表2。

根据表3区域收缩翘曲变形量极差分析可知,保压压力对区域收缩翘曲变形量指标影响最大。5个因素中对区域收缩翘曲变形量指标影响程度从大到小顺序为:保压压力($R_1=0.356$)、保压时间($R_1=0.143$)、熔体温度($R_1=0.103$)、冷却时间($R_1=0.059$)、模



a—流动波前时间;b—熔融区域;c—体积收缩率;d—翘曲总位移;
e—温度差异效应总位移;f—区域收缩差异效应总位移

图4 默认参数下模拟结果

表2 正交试验结果

试验方案编号	因素					结果			
	A/°C	B/°C	C/s	D/s	E/MPa	区域收缩翘曲变形量/mm	信噪比/dB	体积收缩率/%	信噪比/dB
1	20	210	17	10	130	0.989	0.096	3.923	-11.872
2	20	220	20	11	140	0.829	1.629	3.967	-11.970
3	20	230	23	12	150	0.681	3.337	4.070	-12.192
4	20	240	26	13	160	0.645	3.809	4.117	-12.292
5	25	210	20	12	160	0.620	4.152	3.910	-11.840
6	25	220	17	13	150	0.520	5.68	3.988	-12.015
7	25	230	26	10	140	0.983	0.149	4.083	-12.220
8	25	240	23	11	130	1.085	-0.709	4.346	-12.762
9	30	210	23	13	140	0.669	3.110	3.932	-11.892
10	30	220	26	12	130	0.944	0.501	4.048	-12.145
11	30	230	17	11	160	0.668	3.504	3.800	-11.596
12	30	240	20	10	150	0.771	2.259	3.857	-11.725
13	35	210	26	11	150	0.614	4.237	3.977	-11.991
14	35	220	23	10	160	0.632	3.986	3.938	-11.906
15	35	230	20	13	130	0.970	0.265	4.077	-12.207
16	35	240	17	12	140	0.780	2.158	4.289	-12.642

表3 区域收缩翘曲变形量极差分析

项目	A	B	C	D	E
K_{11}	0.786	0.723	0.739	0.844	0.997
K_{12}	0.802	0.731	0.798	0.815	0.815
K_{13}	0.763	0.826	0.767	0.756	0.647
K_{14}	0.749	0.820	0.797	0.701	0.641
R_1	0.053	0.103	0.059	0.143	0.356

具温度($R_1=0.053$)。根据表4体积收缩率极差分析可知,熔体温度对体积收缩率指标影响最大。5个因素中对体积收缩率影响程度从大到小顺序为:熔体温度($R_2=0.216$)、模具温度($R_2=0.173$)、保压压力($R_2=0.158$)、保压时间($R_2=0.129$)、冷却时间($R_2=0.119$)。同时由表3可知,最小区域收缩翘曲变形量的工艺参数组合为 $A_4B_1C_1D_4E_4$;由表4可知,最小体积收缩率的工艺参数组合为 $A_3B_1C_2D_1E_4$ 。影响区域收缩翘曲变形量和体积收缩率的最优工艺参数组合不相同,所以优先使用灰色关联分析法来得到较小的区域收缩翘曲变形量和体积收缩率^[17]。

表4 体积收缩率极差分析

项目	A	B	C	D	E
K_{21}	4.019	3.936	4.000	3.950	4.099
K_{22}	4.082	3.985	3.953	4.023	4.068
K_{23}	3.909	4.008	4.072	4.079	3.973
K_{24}	4.07	4.152	4.056	4.029	3.941
R_2	0.173	0.216	0.119	0.129	0.158

3 灰色关联度分析

灰色关联度分析是把工艺参数之间的紧密程度用于判断各参数间关系强弱的方法^[18]。

首先对信噪比进行无量纲化处理^[19]。望小特征的无量纲化公式如式(2):

$$y_i = \frac{\eta_{i\max} - \eta_i}{\eta_{i\max} - \eta_{i\min}} \quad (2)$$

式中: η_i ——第*i*个试验信噪比值;

$\eta_{i\max}$ 和 $\eta_{i\min}$ ——各试验指标中信噪比最大值和最小值;

y_i —— η_i 无量纲化之后的数值。

其次对灰色关联系数进行计算。灰色关联系数是无量纲化后的数据和理想数据之间的关系^[20],灰色关联系数公式如式(3):

$$\xi_i = \frac{|y_i^0 - y_{i\min}| + \rho|y_i^0 - y_{i\max}|}{|y_i^0 - y_i| + \rho|y_i^0 - y_{i\max}|} \quad (3)$$

式中: y_i^0 ——第*i*个无量纲化理想数据,一般取0;

$y_{i\min}$ ——无量纲化后信噪比的最小值;

$y_{i\max}$ ——无量纲化后信噪比的最大值;

y_i ——第*i*个试验对应的无量纲化信噪比值;

ρ ——分辨系数,一般取0.5。

最后对灰色关联度系数进行均值计算。灰色关联度 γ 公式如式(4):

$$\gamma_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \xi_i (i=1, 2, \dots, 16) \quad (4)$$

式中: m ——优化目标的个数。

将根据公式(1)计算所对应的信噪比值带入到式(2)~式(4)中,得到两个指标的灰色关联系数和灰色关联度值,列于表5。对表5中各组试验对应的灰色关联度值进行极差分析,极差值越大就代表该因素对区域收缩翘曲变形量和体积收缩率影响较大。灰色关联度值极差分析列于表6,因素水平变化趋势图如图5所示。由表6及图5可知,影响区域收缩翘曲变形量和体积收缩率的因素从大到小顺

表5 各指标的灰色关联系数和灰色关联度值

试验方案编号	翘曲值			体积收缩率			关联度值 γ
	η_i	y_i	灰色关联系数	η_i	y_i	灰色关联系数	
1	0.096	0.874	0.364	-11.872	0.237	0.678	0.521
2	1.629	0.634	0.441	-11.97	0.321	0.609	0.525
3	3.337	0.367	0.577	-12.192	0.511	0.495	0.536
4	3.809	0.293	0.631	-12.292	0.597	0.456	0.544
5	4.152	0.239	0.677	-11.84	0.209	0.705	0.691
6	5.680	0	1	-12.015	0.359	0.582	0.791
7	0.149	0.866	0.366	-12.220	0.535	0.483	0.425
8	-0.709	1	0.333	-12.762	1	0.333	0.333
9	3.110	0.402	0.554	-11.892	0.254	0.663	0.609
10	0.501	0.811	0.381	-12.145	0.471	0.515	0.448
11	3.504	0.341	0.595	-11.596	0	1	0.798
12	2.259	0.535	0.483	-11.725	0.111	0.818	0.651
13	4.237	0.226	0.689	-11.991	0.339	0.596	0.643
14	3.986	0.265	0.654	-11.906	0.266	0.653	0.654
15	0.265	0.848	0.371	-12.207	0.524	0.488	0.43
16	2.158	0.551	0.476	-12.642	0.897	0.358	0.417

序为: $E>B>C>A>D$ 。各因素灰色关联度值极大对应的最优工艺参数组合为 $A_3B_1C_1D_4E_4$,即模具温度 30°C 、熔体温度 210°C 、冷却时间 17 s 、保压时间 13 s 、保压压力 160 MPa 。

表6 灰色关联度值极差分析

项目	因素				
	A	B	C	D	E
Y_1	0.532	0.616	0.632	0.563	0.433
Y_2	0.560	0.605	0.574	0.575	0.494
Y_3	0.627	0.547	0.533	0.523	0.655
Y_4	0.536	0.486	0.515	0.594	0.672
R_3	0.095	0.130	0.117	0.071	0.239

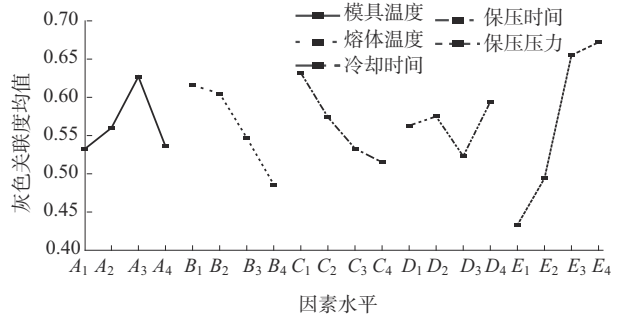


图5 因素水平变化趋势

4 验证试验

把灰色关联度分析得到的最佳工艺参数组合在Moldex3D中进行模拟,得到塑件的区域收缩翘曲变形量为 0.501 mm ,比默认分析减少了 0.388 mm ,塑件的体积收缩率为 3.886% ,比默认分析减少了 0.203% 。因此,不论是区域收缩翘曲变形量还是体积收缩率都达到了相对较优效果,相比默认分析改善了 43.6% 和 4.96% 。模拟结果如图6所示。

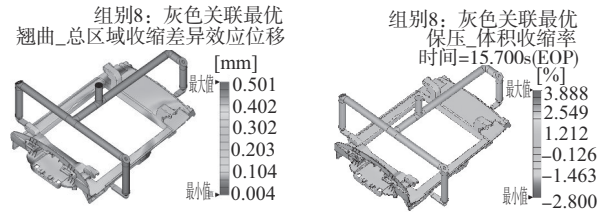


图6 灰色关联度分析优化结果

5 结论

(1)针对塑件成型过程中出现的区域收缩翘曲变形和体积收缩等缺陷,在默认条件下进行模拟,得到翘曲总位移、总温度差异效应位移、总区域收缩差异效应位移和体积收缩率结果。对默认条件模拟结果进行分析可知,翘曲变形是由区域收缩不均匀引起的。因此在进行优化时选择区域收缩翘曲变形量和体积收缩率为优化目标。

(2)建立了5因素4水平的正交试验并利用Moldex3D软件对塑件成型过程进行模拟,通过计算得到信噪比与灰色关联度值。对区域收缩翘曲变形量和体积收缩率的灰色关联度值进行极差分析,得到E因素对塑件的综合影响最大,最佳工艺参数组合为 $A_3B_1C_1D_4E_4$ 。

(3)将最优工艺参数组合进行模拟,得到区域收缩翘曲变形量为 0.501 mm ,体积收缩率为 3.886% ,分别比默认分析改善了 43.6% 和 4.96% ,塑件区域收缩翘曲变形量和体积收缩率都达到相对较优效果。因此,可证明灰色关联理论适用于注塑工艺优化。

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] 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.
- [3] 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.
- [4] 齐雪,廖秋慧,祝璐琨,等.基于响应面法的汽车接插件注塑工艺优化[J].塑料科技,2018,46(10):95-99.
Qi Xue, Liao Qihui, Zhu Lukun, et al. Optimization for car connector injection molding process based on response surface model[J]. Plastics Science and Technology, 2018, 46(10):95-99.
- [5] Satoshi K, Kanako T, Masahiro T, et al. Numerical and experimental investigation on process parameters optimization in plastic injection molding for weldlines reduction and clamping force minimization[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018, 97:5-8.
- [6] Mukras S M S, Omar H M, Al-Mufadi F A. Experimental-based multi-objective optimization of injection molding process parameters[J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2019, 44(9):7 653-7 665.
- [7] Sateesh N, Devakar Reddy S, Praveen Kumar G, et al. Optimization of injection moulding process in manufacturing the flip cover of water meter[J]. Materials Today: Proceedings, 2020, 26:240-246.
- [8] 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.
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.
- [9] 郭斌扬,周天意,于洋洋,等.基于响应面和ASA的抑爆球注塑质量多目标优化[J].塑料,2021,50(5):147-155.
Wu Binyang, Zhou Tianyi, Yu Yangyang, et al. Multi-objective optimization of explosion suppression ball injection molding quality based on response surface model and ASA algorithm[J]. Plastics, 2021, 50(5):147-155.
- [10] 庄燕,朱敬花,毛洪辉,等.基于回归分析的汽车扶手箱下盖板注射成型工艺优化[J].工程塑料应用,2022,50(2):101-105.
Zhuang Yan, Zhu Jinghua, Mao Honghui, et al. Optimization of injection molding process for lower cover of automobile armrest box based on regression analysis[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(2):101-105.
- [11] 谭安平,幸晋渝,刘克威.汽车车门内饰板的成型模拟与正交法优化[J].塑料,2021,50(3):132-136.
Tan Anping, Xing Jinyu, Liu Kewei. Forming simulation and orthogonal optimization of trim panel of automobile door[J]. Plastics, 2021, 50(3):132-136.
- [12] 谭安平,刘克威.基于Moldflow的PC/ABS汽车后视镜翘曲变形优化分析[J].合成树脂及塑料,2020,37(1):67-72.
Tan Anping, Liu Kewei. Optimal analysis based on Moldflow for warpage deformation of automotive rearview mirror shell prepared with PC/ABS blend[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2020, 37(1):67-72.
- [13] 任小鸿,陈丽,文仁兴.基于Moldflow的窄长型薄壁件浇注系统设计[J].塑料,2021,50(3):121-124.
Ren Xiaohong, Chen Li, Wen Renxing. Design of casting system for narrow and long thin wall parts based on Moldflow[J]. Plastics, 2021, 50(3):121-124.
- [14] 魏翔宇,王钊,倪传龙,等.基于灰色关联度的车灯装饰框注塑工艺优化[J].现代塑料加工应用,2020,32(2):34-37.
Wei Xiangyu, Wang Zhao, Ni Chuanlong, et al. Injection molding process optimization of headlamp decoration frame based on grey relation analysis[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2020, 32(2):34-37.
- [15] 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 Liguang, et al. Multi-objective optimization of injection molding process based on grey relational analysis[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(1):104-110.
- [16] 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.
- [17] 郑尧刚,翟豪瑞,熊新,等.基于Moldex3D和灰色关联理论在空气滤清器上壳的工艺优化[J].工程塑料应用,2018,46(10):72-75,85.
Zheng Yaogang, Zhai Haorui, Xiong Xin, et al. Process optimization of air filter upper shell based on Moldex3D analysis and grey relational theory[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(10):72-75,85.
- [18] 傅建钢.基于灰色关联分析的手机外壳成型工艺优化[J].现代塑料加工应用,2021,33(3):43-47.
Fu Jiangang. Optimization of mobile phone shell molding process based on grey correlation analysis[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2021, 33(3):43-47.
- [19] 舒海涛,刘治华,梁帅,等.基于灰色关联分析法的COC芯片翘曲变形注塑工艺优化[J].工程塑料应用,2020,48(10):65-70.
Shu Haitao, Liu Zhihua, Liang Shuai, et al. Optimization of injection molding process for warpage of COC chip based on grey relational analysis[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(10):65-70.
- [20] 王海峰,沈鑫华.信噪比灰色关联分析在注塑工艺参数优化中的应用[J].塑料工业,2019,47(4):69-72.
Wang Haifeng, Shen Xinhua. Application of grey correlation analysis of SNR in injection molding process parameter optimization[J]. China Plastics Industry, 2019, 47(4):69-72.