

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.05.013

摩托车导流板装饰盖注塑工艺参数优化

赵宏霞^{1,2}, 魏东坡^{1,2}

(1. 山东华宇工学院, 山东德州 253000; 2. 山东省高等学校智能制造工程特色实验室, 山东德州 253000)

摘要: 以某摩托车导流板装饰盖为研究对象, 为获得零件最佳注塑工艺参数、最佳浇口位置及结构参数, 结合成型零件特点和实际加工要求, 以翘曲变形量作为衡量指标, 进行浇注工艺分析。经过浇口匹配性分析确定浇注系统方案, 基于田口试验法分别设计两组试验: 一是选择熔体温度、模具温度、保压压力、注射时间为影响因素的 $L_{16}(4^4)$ 试验方案, 通过成型工艺窗口分析确定各因素水平范围, 极差分析得出各工艺参数对翘曲变形的影响显著性次序及最优工艺参数组合; 二是在此工艺方案基础上, 对零件上两处点浇口直径和第二点浇口位置进行优化, 设计 $L_{16}(4^3)$ 试验, 分析得出翘曲变形量最小的浇口结构组合。由第一次田口试验优化得到翘曲变形量为 0.489 1 mm, 相较于田口试验的最小值减小了 2.26%。第二次田口试验结果所得的翘曲变形量仅为 0.435 8 mm, 相较于初始方案降低了 10.9%, 结果表明改善浇口位置及结构可以有效改善制件的翘曲变形。经过实际生产验证, 零件具有良好的表面质量和尺寸精度, 满足生产和使用要求。

关键词: 导流板装饰盖; 工艺参数; 田口试验; 翘曲变形

中图分类号: TQ322.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)05-0088-07

Optimization of injection process parameters for motorcycle deflector decorative cover

ZHAO Hongxia^{1,2}, WEI Dongpo^{1,2}

(1. School of Chemical Engineering, Shandong Huayu University of Technology, Dezhou 253000, China;

2. Shandong Province Higher Education Intelligent Manufacturing Engineering Characteristic Laboratory, Dezhou 253000, China)

Abstract : The motorcycle deflector decorative cover was taken as the research object. In order to obtain the best injection molding process parameters, the optimal gate location and structural parameters, combined with the characteristics of the molded parts and the actual processing requirements, the warping deformation was taken as measurement indicators to analyze the injecting process. The injection system scheme was determined through gate matching analysis, and two sets of tests were designed based on taguchi experiment: the first group was to select $L_{16}(4^4)$ scheme with melt temperature, mold temperature, packing pressure and injection time as the influence factors, determine the level range of each factor through the molding process window analysis, and obtain the significant order of influence of each process parameter on warping deformation and the optimal combination of process parameters by range analysis. On the basis of the first scheme, the second group optimized the diameter of the two point gates on the part and the position of the second point gate, designed an $L_{16}(4^3)$ experiment to obtain the gate structure combination with the minimum warping deformation. The warping deformation optimized by the first taguchi experiment was 0.4891 mm, which was reduced by 2.26% compared with the minimum value of the test. The warping deformation obtained by the second group was only 0.435 8 mm, which was reduced by 10.9% compared with the initial scheme, indicating that improving the location and structure of the point gate could effectively improve the warping deformation. After the actual production verification, the parts had good surface quality and dimensional accuracy, and met the production and use requirements.

Keywords : deflector decorative cover ; process parameter ; taguchi experiment ; warping deformation

基金项目: 中国高校产学研创新基金项目(2021DZ027)

通信作者: 赵宏霞, 副教授, 主要从事机械设计与制造领域的教学和研究工作

收稿日期: 2024-03-08

引用格式: 赵宏霞, 魏东坡. 摩托车导流板装饰盖注塑工艺参数优化[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(5): 88-94.

ZHAO Hongxia, WEI Dongpo. Optimization of injection process parameters for motorcycle deflector decorative cover[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(5): 88-94.

在当今时代背景下,特别是国家“绿色化、低碳化”的发展理念推动下,塑料制品相比金属制品,因其质量轻便、性能多样、价格低廉、替换便捷等特点,已经越来越多地被应用到日常生活、工业生产各个领域。自塑料制品行业诞生以来,注射成型一直是应用最广泛的塑料成型工艺^[1],随着计算机模拟仿真技术的不断发展和完善,注塑成型的工艺优化手段也越加成熟。

马镜涵^[2]、李保^[3]、尚雪梅等^[4]运用 Moldflow 软件分析注塑过程中对翘曲变形影响最大的熔体温度、模具温度、保压压力、保压时间等参数,利用响应面模型方法拟合得到工艺参数与翘曲变形量之间的回归方程,最后将寻得的工艺参数组合通过软件仿真验证。吴俊超^[5]、孙庆东等^[6]在 Moldflow DOE 功能的帮助下,采用响应面法和用 Minitab 建立分析模型并求解最优值。孟小林^[7]、万江勇等^[8]基于 Taguchi 正交试验设计,对仿真模拟的试验数据进行极差、方差分析处理,最后得出最佳的双色注塑工艺组合方案。以上研究内容基本围绕对注塑成型工艺参数的优化,具有一定的指导意义,但就塑料制品全生产周期而言,模具的结构设计同样对注塑成型质量影响显著,因此可引入模具设计参数对制品成型质量的影响。

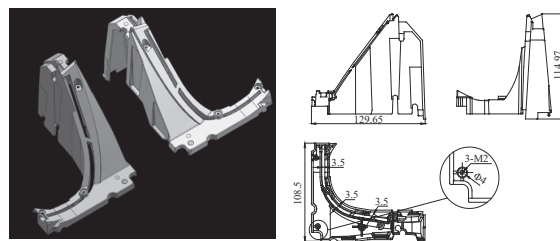
笔者以某摩托车导流板装饰盖注塑工艺分析为例,选取零件总翘曲变形量为目标参数,通过田口试验结合极差分析和浇口尺寸及位置优化两次优化的方法,先后以注塑工艺参数和模具设计参数为主要研究对象,分析其对翘曲变形量的影响规律,并获得最佳注塑成型方案,指导实际生产^[9-10]。

1 注塑 CAE 前处理

1.1 塑件分析

某摩托车导流板装饰盖如图 1 所示,该零件采用舒尔曼公司的聚丙烯材料(牌号 FIPP MKF 4025),单件外形尺寸为 129.65 mm×108.05 mm×114.97 mm,平均壁厚 1.56 mm,基本壁厚 2 mm。零件整体起伏较大,曲面部分面积约占总面积的 90.5%,其中最高的一处擦穿位高出分型平面 88 mm。每个零件均布有三处窄槽,平均宽度 3.5 mm,背面有三个外径 4.8 mm、内径 2 mm 的螺柱孔,其轴线方向可定义为模具的开模方向,因此零件的摆放角度基本确定。另外,零件外观面质量要求较高,不允许有较多或较大的浇口痕迹,在模具设计时要求对称排

列,成对成型,其余各特征定位精度要求准确^[11]。



(a) Three-dimensional drawing (b) Part drawing

图 1 摩托车导流板装饰盖

Fig. 1 Motorcycle deflector decorative cover

1.2 模型网格划分

将 UG 软件中零件的 prt 格式导入 Moldflow 中,选用双层面三角形网格类型进行单元划分,全局网格边长 3 mm。经过网格修复操作后,网格诊断结果如图 2 所示,得到三角形网格数 48 384 个,平均纵横比值 2.58,匹配百分比 85.6%,相互百分比 86.4%,网格质量满足 CAE 成型精度分析要求^[12]。

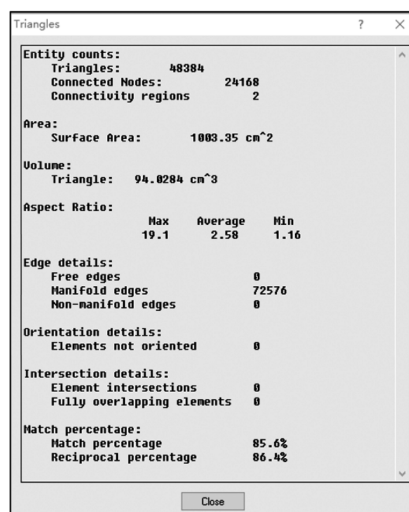


图 2 网格诊断的统计结果

Fig. 2 Statistical results of grid diagnosis

1.3 模型浇注系统设计

浇注系统的设计对于成型高质量的注塑产品至关重要,因为它直接影响了塑料融料的流动、冷却和最终的产品质量^[13]。

首先通过 Moldflow 的浇口匹配性分析功能确定设置浇口的最佳位置。Moldflow 软件计算注塑最佳浇口的依据是塑料充填的平衡性和流动阻力最小的区域,因此得到的分析结果多是零件的几何中心或质量中心位置。本零件的最佳浇口匹配结果如图 3a 所示,在中段竖直曲面上且距离零件上两

段窄槽特征较近。从注塑成型工艺分析,若在底平面处设置侧浇口,如图3b所示,会使得熔融塑料在成型过程中经过一个较高等度的爬升和下降过程,从而导致成型周期增加,塑料的流动和冷却也将受到成型部件的影响,故不适宜在本例中采用;若在上表面设计单点浇口或直浇口,如图3c所示,则零件表面显著位置会留下浇口剪切痕迹,严重影响外观面质量,熔融塑料还会直接冲击窄槽成型部分致其发生变形,另外浇口靠近零件狭小位置时会增大熔体流动阻力,造成冷却加快影响其流动距离,因此也不宜采用。

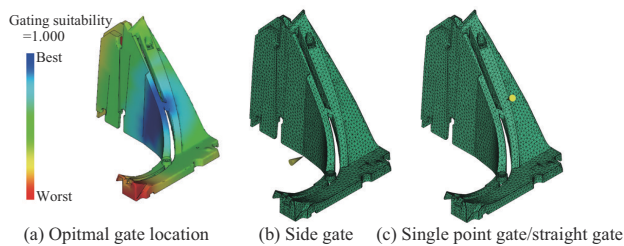


图3 浇口匹配性分析结果

Fig. 3 Analysis result of gate matching

综上所述,本例结合零件的外形特点,再次分析最佳浇口位置时增加“限制性浇口节点”边界条件,选择零件上曲面曲率较大区域的节点设为屏蔽点,同时工艺设置“浇口数量”为2,得到最终的浇口优化方案如图4所示,零件上与开模方向垂直的两个平面趋近浇口位置最优解。从模具设计角度分析,将浇口开设在上述位置有利于模具整体结构的简化,浇口的加工也更为便捷。

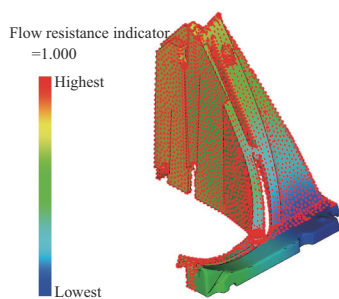


图4 两点式最佳浇口位置(有限制)

Fig. 4 Optimal gate location for two-point type (restricted)

根据摩托车导流板装饰盖制件要求外观精细、表面质量高的特点,选用浇口痕迹小且易清除,并能实现自动脱模的点浇口,模具布局为一模两腔,基于浇口匹配性分析结果,建立的最终浇注系统方

案如图5所示。

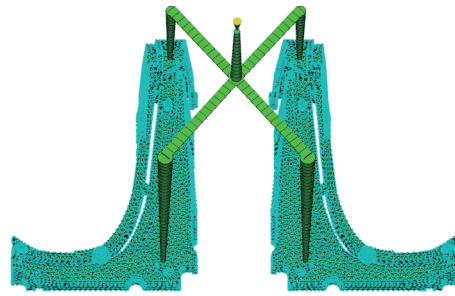


图5 浇注系统最终方案

Fig. 5 Final scheme of injection system

2 注塑工艺参数优化

田口试验法用于确定多个因素对产品成型质量的影响,并确定最佳因素组合以实现最佳结果的优化方法,在工艺改进和质量优化方面有广泛的应用^[14]。翘曲变形是注塑件的常见缺陷,在工程实践中主要通过产品及模具设计改进、成型工艺参数优化等方法对塑件的翘曲变形进行控制^[15]。本例选取总翘曲变形量为目标参数,以注塑工艺参数和模具设计参数为主要研究对象,分析其影响显著性并获得最佳成型方案。

2.1 田口试验设计

根据田口试验法基本原则,结合注塑成型主要工艺内容,选择熔体温度(A)、模具温度(B)、保压压力(C)和注射时间(D)为因素变量,翘曲变形量(Z)为评价指标,首先在Moldflow分析序列中选择“成型窗口”项,得到三个参数的“首选”范围,如图6所示。成型窗口分析结果显示,熔体注射时间在0.51 s至

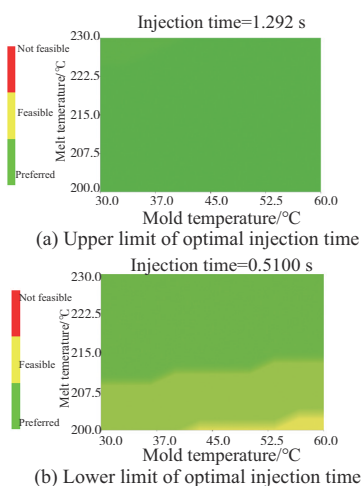


图6 最佳成型窗口

Fig. 6 Optimal molding region

1.292 s之间是首选范围,仅在时长不足0.51 s,熔体温度低于200 °C且模具温度超过60 °C时,成型窗口过渡到了“可行”范围,因此本例各因素变量的水平确定在注射时间0.6~1.2 s,熔体温度200~230 °C,模具温度30~60 °C之间,并在该范围内进行寻优解算。另外,将保压压力纳入研究范围,将其值设置在注射压力的50~80 MPa之间,最终建立4因素4水平田口试验 $L_{16}(4^4)$,其具体因素水平表见表1。

表1 田口试验因素水平

Tab. 1 Taguchi experiment factor levels

Level	Factor			
	A/°C	B/°C	C/MPa	D/s
1	200	30	50	0.6
2	210	40	60	0.8
3	220	50	70	1.0
4	230	60	80	1.2

2.2 田口试验结果及分析

利用Moldflow分别进行16组翘曲变形分析,试验方案和结果见表2。

表2 田口试验分析结果

Tab. 2 Results of taguchi experiment

No.	A/°C	B/°C	C/MPa	D/s	Z/mm
1	200	30	50	0.6	0.759 9
2	200	40	60	0.8	0.685 9
3	200	50	70	1.0	0.617 1
4	200	60	80	1.2	0.530 5
5	210	30	60	1.0	0.668 8
6	210	40	50	1.2	0.747 8
7	210	50	80	0.6	0.500 4
8	210	60	70	0.8	0.589 4
9	220	30	70	1.2	0.588 8
10	220	40	80	1.0	0.521 6
11	220	50	50	0.8	0.723 4
12	220	60	60	0.6	0.635 4
13	230	30	80	0.8	0.504 4
14	230	40	70	0.6	0.553 5
15	230	50	60	1.2	0.635 0
16	230	60	50	1.0	0.706 5

针对田口试验结果进行极差分析,极差的大小表示对应参数对响应变量的影响大小,由极差分析可得出田口试验各因素对模型翘曲变形量的影响权重顺序^[6],正交试验的极差分析见表3。

由极差分析表可知,对于翘曲变形,各因素影响显著性次序为:保压压力>熔体温度>注射时间>模具温度,最佳工艺参数组合为熔体温度230 °C,模具温度60 °C,保压压力80 MPa,注射时间0.6 s。

将田口试验所优化的参数组合输入Moldflow软件进行模拟验证,结果如图7所示,其翘曲变形量

表3 翘曲变形极差分析结果

Tab. 3 Range analysis results of warping deformation

Level	A	B	C	D
1	0.648 3	0.630 5	0.734 4	0.612 3
2	0.626 6	0.627 2	0.656 3	0.625 8
3	0.617 3	0.619 0	0.587 2	0.628 5
4	0.599 8	0.615 4	0.514 2	0.625 5
Range	0.048 5	0.015 0	0.220 2	0.016 2
Rank	2	4	1	3

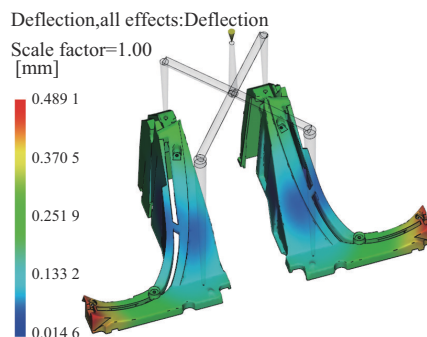


图7 翘曲变形分析结果图

Fig. 7 Diagram of warping deformation analysis results

为0.4891 mm,相较于田口试验的最小值减小了2.26%。

3 非平衡式浇口优化

田口试验分析将模型翘曲量优化至合理范围,并得出各注塑工艺参数对翘曲变形量的影响程度。为进一步优化产品,保证产品质量稳定性及后续装配精度,需要对模型翘曲变形作进一步优化。

在多型腔的浇注系统设计中,应秉持使所有型腔的塑料熔体同时充填完整,因此型腔常采用平衡式布置,若浇口位置由于制件结构限制而设计成非平衡式布置,则需要通过调节浇口尺寸,使各浇口流量及成型工艺条件达到一致^[7]。平衡阈值(BGV,简称B)值是用于判定和计算浇口平衡的值,相同塑件的多型腔浇口平衡时,各浇口计算出的BGV值必须相等,型腔浇口的BGV值为:

$$B = \frac{A_g}{\sqrt{L_r L_g}} \quad (1)$$

式中: A_g 为浇口截面积,mm²; L_r 为从主中心至浇口分流道的长,mm; L_g 为浇口长度,mm。

3.1 非平衡式浇口结构试验设计

在注塑成型过程中,浇口的设计对最终产品的质量有着显著的影响,而浇口直径是其中的一个重要参数。浇口直径的大小会影响塑料熔体的流动性、压力、冷却速率和周期时间,进而影响产品的外观、尺寸精度、物理性能和成型周期等多个方面。

因此在选择常规注塑工艺参数的基础上,研究浇口直径这个特殊的参数,总结其对制件翘曲变形的变形规律。通过采用非平衡式浇口试验设计,基于注射模具浇口设计准则,从2点浇口直径与第二点处浇口位置角度出发,提出不同的浇口设计方案,并基于以上设计为因素,进行3因素4水平的 L_{16} 正交试验设计。试验所用的工艺参数为第一次正交试验所得到的优化工艺参数:熔体温度230℃,模具温度60℃,保压压力80 MPa,注射时间0.6 s。

如图8所示,将浇口1与浇口2的直径作为变量,以上述的BGV值为依据,使两个浇口进入型腔的塑料熔体流量基本一致,确定其值变化范围均在1~2.5 mm之间,为降低翘曲位置的翘曲量,探究浇口位置与翘曲位置之间的关系,将浇口2的位置也纳入优化变量之中。由于位置难以量化,所以基于以上零件,给出量化方式。根据工程经验,浇口的设置一般位于平面之上,该零件前端平面范围较大,所以将浇口位置的横向排布作为浇口位置的量化方式,从内向外浇口的坐标分别是:N1 (46.98, 41.48), N2 (48.382, 60.034), N3 (49.72, 78.48), N4 (50.764, 96.985),命名为浇口位置1,浇口位置2,浇口位置3,浇口位置4,如图9所示。

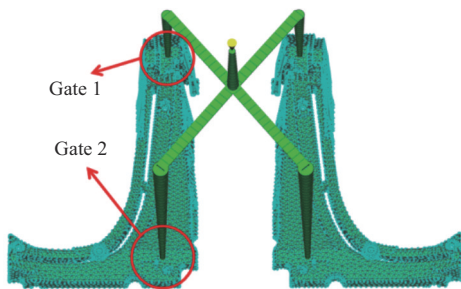


图8 浇口位置示意图

Fig. 8 Diagram of gate location

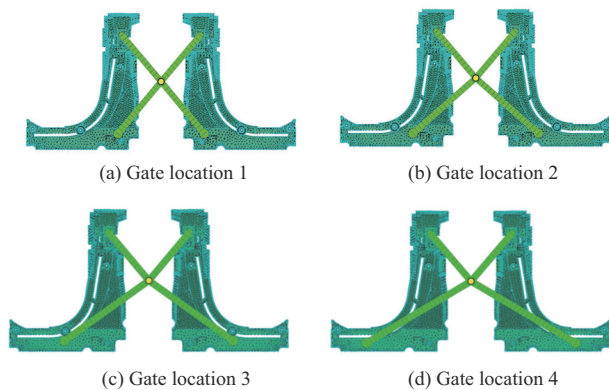


图9 浇口2的位置示意图

Fig. 9 Diagram of Gate 2 location

根据上述浇口直径及位置水平设计4水平3因素的正交试验表,共16组试验,输入Moldflow进行模拟分析,试验结果见表4。

表4 浇口直径及位置正交试验方案及结果

Tab. 4 Orthogonal experiment scheme and results of gate diameter and location

No.	Gate 1 diameter/ mm	Gate 2 diameter/ mm	Gate 2 location	Z/mm
1	1	1	1	0.489 1
2	1	1.5	2	0.502 8
3	1	2	3	0.456 3
4	1	2.5	4	0.496 2
5	1.5	1	2	0.461 5
6	1.5	1.5	1	0.489 7
7	1.5	2	4	0.502 4
8	1.5	2.5	3	0.456 3
9	2	1	3	0.465 7
10	2	1.5	4	0.505 6
11	2	2	1	0.489 2
12	2	2.5	2	0.467 4
13	2.5	1	4	0.510 7
14	2.5	1.5	3	0.459 5
15	2.5	2	2	0.458 5
16	2.5	2.5	1	0.489 4

3.2 非平衡式浇口结构试验结果分析

对表4所得数据进行极差分析,翘曲变形趋势结果图如图10所示,改变浇口1与浇口2的直径时模型翘曲变形量在浇口直径为1.0~2.0 mm范围内波动较大,较大的浇口直径可以减少熔体流动时的剪切应力,有助于材料更加均匀地填充模腔,从而减少因填充不均引发的内部应力。然而太大的浇口直径可能导致材料过快进入模腔,造成喷溅和气体夹杂,反而增加内部应力。较小的浇口会延长熔体从浇口进入模腔的时间,导致熔体在浇口处的冷却加剧,可能出现不完全填充或者在塑件中产生较大的内应力,从而增加翘曲变形。从保压阶段来看,适当的浇口直径可以使保压更均匀地施加在整个塑件上,帮助减少内应力,进而减少翘曲变形。

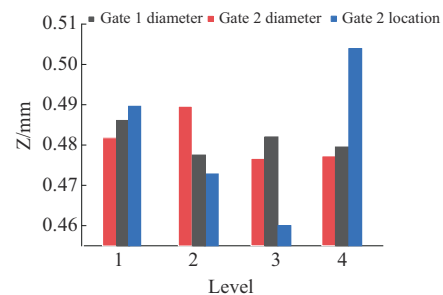


图10 翘曲变形量变化趋势图

Fig. 10 Trend graph of warping deformation

同时,随着浇口2位置沿远离主流道方向,模型翘曲量呈先下降后上升趋势。浇口距离主流道较远可能导致熔体在到达模腔前冷却过多,造成流动性下降,这会使得模腔内的填充不均匀。不均匀的填充会造成材料在模腔内的温度分布不均,从而在塑件内部产生不均匀的收缩,引发翘曲变形。而较长的距离也会降低从主流道到浇口以及到达模腔内部的压力传递效率。在保压阶段可能导致塑件某些区域的压力不足,从而无法有效补偿材料收缩,综上所述,由于熔体温度和压力传递的问题,浇口距离主流道的调整直接关系到塑件内部应力的分布。如果浇口位置设置不合理,会在塑件内部产生较大的内应力梯度,增加翘曲变形的可能性。

由图10得出,针对翘曲优化完成后的最优参数组合为:浇口1直径1.5 mm、浇口2直径2.0 mm、浇口2位置3(距主流道中心 X 方向49.72 mm, Y 方向78.48 mm)。将优化结果导入模流分析软件进行验证,优化后模型最大翘曲变形量为0.435 8 mm,发生位置于零件末端上端,如图11所示。对比田口试验极差分析结果,翘曲变形量减少了10.9%,说明改善浇口直径尺寸及位置可以有效改善塑件的翘曲变形量、优化成型质量。

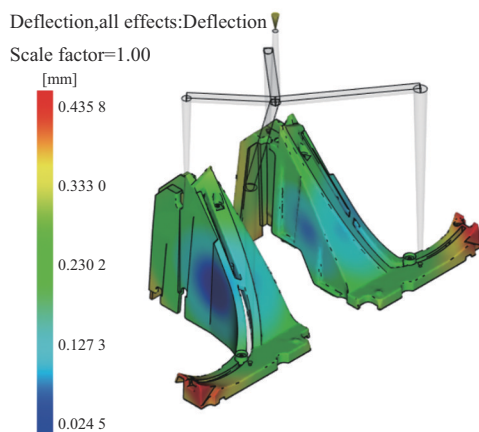


图11 翘曲变形结果

Fig. 11 Results of warping deformation

4 结论

通过对某摩托车导流板装饰盖的注塑工艺进行深入分析,以减小塑件的翘曲变形量为研究目标,确定了最佳的注塑工艺参数和浇口设计方案。

(1) 根据摩托车导流板装饰盖的结构特点及成型质量要求,利用Moldflow确定最佳浇口位置,完成浇注系统的创建。

(2) 通过田口试验设计,得出所选工艺参数对翘

曲变形量的影响显著性次序为保压压力>熔体温度>注射时间>模具温度,并通过极差分析得出最佳注塑工艺参数为熔体温度230℃、模具温度60℃、保压压力80 MPa、注射时间0.6 s,优化后的型芯偏移量相较田口试验结果减小了2.26%。

(3) 以浇口的尺寸和位置为因素变量设计田口试验,优化非平衡式浇口的尺寸和位置,最终方案为浇口1直径1.5 mm、浇口2直径2.0 mm、浇口2位置3(距主流道中心 X 方向49.72 mm, Y 方向78.48 mm),显著减小零件的翘曲变形量至0.435 8 mm,相较优化前减小了10.9%。证明工艺参数优化结合模具设计参数优化能够显著提升塑件的成型质量,为相关领域的工艺优化提供了理论依据。

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] 马镜涵,刘泓滨,汪鑫.基于响应面模型与人工鱼群算法的汽车车门内饰柱注塑成型优化设计[J].工程塑料应用,2023,51(3):64-68.
MA Jinghan, LIU Hongbin, WANG Xin. Optimal design of injection molding of automotive door interior columns based on response surface model and artificial fish swarm algorithm[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(3):64-68.
- [3] 李保,王正才,黄铭涛,等.基于Moldflow的双色IMD塑件模具设计与仿真[J].工程塑料应用,2023,51(1):82-87.
LI Bao, WANG Zhengcai, HUANG Mingtao, et al. Design and simulation of bicolor IMD injection mould based on Moldflow[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(1):82-87.
- [4] 尚雪梅,门静,韩海燕,等.手机壳注塑成型模流分析及工艺优化[J].工程塑料应用,2023,51(5):75-80.
SHANG Xuemei, MEN Jing, HAN Haiyan, et al. Moldflow analysis and process optimization of mobile phone case injection molding[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(5):75-80.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 孟小林,张继祥,李又兵,等.汽车B柱外饰板双色注塑翘曲变形分析及工艺优化[J].工程塑料应用,2023,51(2):54-59.
MENG Xiaolin, ZHANG Jixiang, LI Youbing, et al. Warpage deformation analysis and process optimization of automotive B-pillar exterior panel with two-color injection[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(2):54-59.
- [8] 万江勇,张继祥,李又兵,等.汽车B柱窗框塑料件RHCM注塑翘曲变形分析及工艺优化[J].工程塑料应用,2023,51(3):58-63.
WAN Jiangyong, ZHANG Jixiang, LI Youbing, et al. Analysis and process optimization of RHCM injection warping deformation of automotive B-pillar window frame plastic parts[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(3):58-63.
- [9] 杜鹏辉,于江涛,于昕世,等.基于Taguchi试验的空调导风板预变形控制[J].工程塑料应用,2023,51(6):68-72,84.
DU Penghui, YU Jiangtao, YU Xinshi, et al. Predeformation control of air conditioner deflector based on Taguchi experiment[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(6):68-72, 84.
- [10] 朱洪军.基于CAE的汽车副仪表箱体平衡注塑优化分析[J].中国塑料,2018,32(10):105-112.
ZHU Hongjun. Balanced injection optimization of automotive auxiliary instrument boxes based on CAE[J]. China Plastics, 2018, 32(10):105-112.
- [11] 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.
- [12] 李占超,潘小新,徐超辉.电子插柱精密非标注射模设计[J].塑料,2023,52(1):164-169.
LI Zhanchao, PAN Xiaoxin, XU Chaohui. Design of precision non-standard injection mold for electronic inserting post[J]. Plastics, 2023, 52(1):164-169.
- [13] 胡开元,李晓龙,尹小燕,等.基于稳健设计的汽车尾灯罩注塑工艺优化[J].合成树脂及塑料,2023,40(2):52-55,59.
HU Kaiyuan, LI Xiaolong, YIN Xiaoyan, et al. Optimization of injection molding process for automotive taillight shade based on robust design[J]. China Synthetic Resins and Plastics, 2023, 40(2):52-55, 59.
- [14] 陈忠杭,胡燕海,沈加明,等.基于GA-BP-PSO算法的薄壁注塑件翘曲变形优化[J].工程塑料应用,2024,52(3):70-75.
CHEN Zhonghang, HU Yanhai, SHEN Jiaming, et al. Optimization of warping deformation of thin-walled injection molded parts based on GA-BP-PSO algorithm[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 52(3):70-75.
- [15] 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 automotive instrument[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(9):83-89.
- [16] 薛庆红,苗盈,薛兹键,等.基于熵权TOPSIS法的注塑工艺参数多目标优化[J].塑料,2023,52(6):142-146.
XUE Qinghong, MIAO Ying, XUE Zijian, et al. Multi-objective optimization of injection molding process parameters based on entropy-weight TOPSIS method[J]. Plastics, 2019, 52(6):142-146.
- [17] 屈华昌,吴梦陵.塑料成型工艺与模具设计[M].北京:高等教育出版社,2018.
QU Huachang, WU Mengling, et al. Plastic molding process and mold design[M]. Beijing:Higher Education Press, 2018.