

汽车内饰件注塑成型工艺的分析与优化

吴天宸, 翟建广, 邹明辉

上海工程技术大学材料科学与工程学院, 上海

收稿日期: 2023年2月21日; 录用日期: 2023年5月1日; 发布日期: 2023年5月8日

摘要

以汽车内饰件为研究对象, 通过Moldflow设计合适的浇注系统和冷却系统。通过正交试验法和Moldflow模流分析软件研究模具温度、注射时间、注射压力、保压时间、保压压力及熔融温度等工艺参数在不同组合下对塑件翘曲量的影响, 利用均值分析和极差分析, 得到一组最优的工艺参数组合, 使得翘曲变形量最小。

关键词

汽车内饰, Moldflow, 正交试验, 注塑成型, 翘曲量

Analysis and Optimization of Injection Molding Process for Automotive Interior Parts

Tianchen Wu, Jianguang Zhai, Minghui Zou

School of Materials Science and Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Feb. 21st, 2023; accepted: May 1st, 2023; published: May 8th, 2023

Abstract

Taking automotive interior parts as the research object, and then design suitable pouring system and cooling system through Moldflow. The influence of process parameters such as mold temperature, injection time, injection pressure, holding time, holding pressure and melting temperature on the warpage of plastic parts under different combinations was studied by orthogonal test method and Moldflow analysis software, and the mean value analysis was used and range analysis, a set of optimal process parameter combination is obtained to minimize warping deformation.

Keywords

Automotive Interior, Moldflow, Orthogonal Experiment, Injection Molding, Warpage

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着科学技术的不断进步,对塑料制品质量的要求也越来越高。汽车内饰的设计工作量占汽车总设计量的一半以上,因此其为汽车车身的重要组成部分之一。伴随着汽车行业的迅猛发展以及私人用车市场的崛起,人们对汽车内饰的需求逐步提高。信息技术的发展促进了计算机辅助工程 CAE 在模具设计领域的广泛应用,并且 Moldflow 作为注塑成型最佳的 CAE 软件,为塑件的设计提供了强有力的保障[1]。注塑成型工艺也同样具有一定的缺陷,比如翘曲、缩坑、流痕、熔接痕、气孔、放射纹、龟裂、变色、飞边等质量缺陷,需要提供一套行之有效的解决方案。但是采用 CAE 技术,可以提前给出预防这些缺陷产生的模具设计方案,降低生产成本,缩短生产周期,提高生产效率,保证塑件的质量[2]。本实验以汽车导航仪外框固定架为研究对象,运用正交试验法和 Moldflow 模流分析软件设计探究影响翘曲变形的工艺参数对注塑件的影响程度,得到的最优工艺组合,使得注塑件的翘曲变形量最小。

2. Moldflow 模流分析

2.1. 网格划分

将汽车导航仪外框固定架作为研究对象,首先使用 UG 软件绘制出产品模型图,如图 1 所示,然后将模型导出为光固化立体造型术文件格式,之后导入到 Moldflow 软件中。

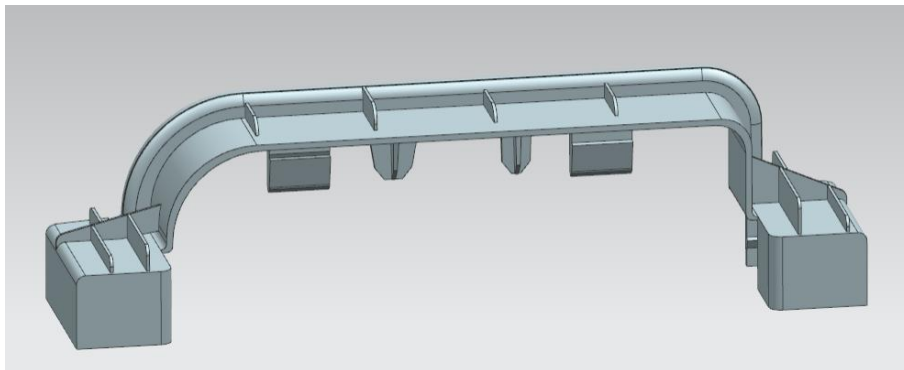


Figure 1. The model of the outer frame of the car navigator

图 1. 汽车导航仪外框固定架模型

对汽车导航仪外框固定架三维模型进行网格划分,为了之后分析结果的精确性,根据零件尺寸大小,定义全局网格边长为 3 mm,网格统计如图 2 所示。根据图 2 可以得出,最大纵横比是 19.0,最小纵横比是 1.16,对于本产品双层面,其中没有自由边、多重边、没有定向的单元,没有单元交叉,且连通区域为 1;纵横比在 20 以内,单元匹配率达到 95.2%,满足对模型进行翘曲变形模拟分析的条件[3]。

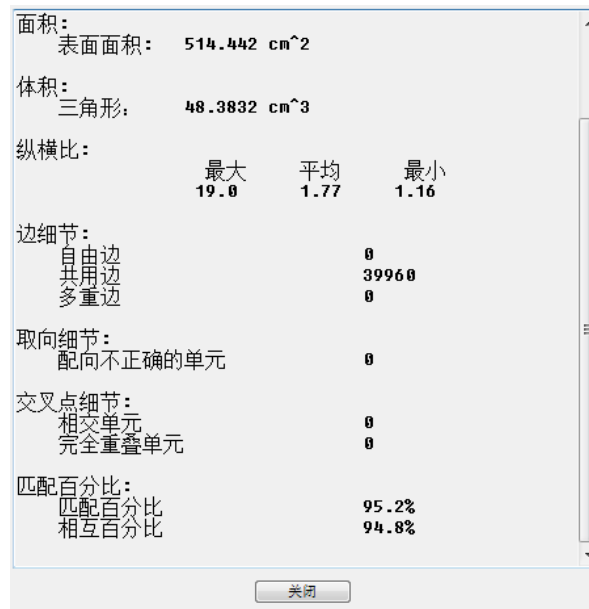


Figure 2. Meshing

图 2. 网格划分

2.2. 浇注系统设计

首先确定最佳浇口位置，如图 3 所示，最佳浇口位置在节点 N23755 处，上图中蓝色为最佳浇口位置，红色为最差位置，绿色介于两者之间，因此该汽车内饰件的最佳浇口位置应选择正中位置。

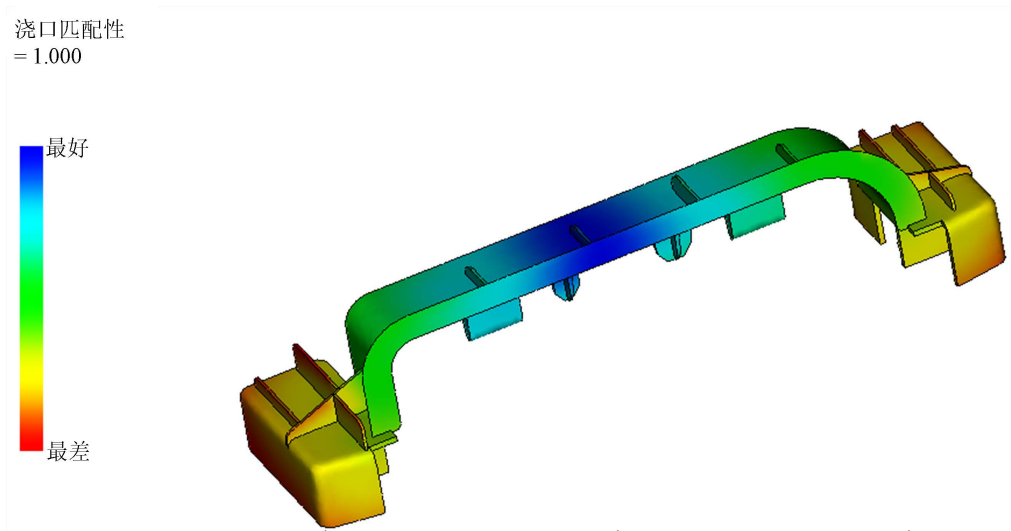


Figure 3. The best gate location

图 3. 最佳浇口位置

由于塑件的尺寸较小，且需要大批量生产，为了节省成本和提高生产效率，确定产品为一模两腔。本次设计采用侧浇口，采用单浇口和双浇口两个方案进行对比，浇口尺寸为 4 cm，冷流道尺寸为 5 cm，冷主流道始端直径为 3 cm，冷主流道末尾尺寸为 5 cm。在结果中选择充填时间、气穴、熔接痕进行比较，分析结果分别如图 4~9 所示。

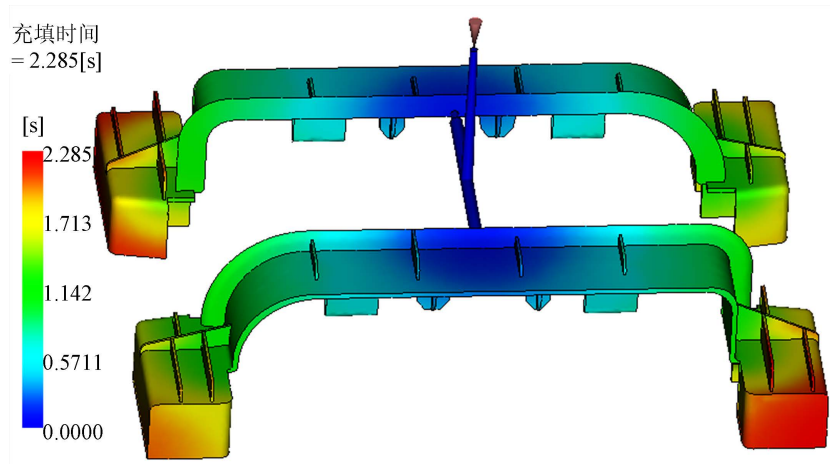


Figure 4. Single gate filling time
图 4. 单浇口充填时间

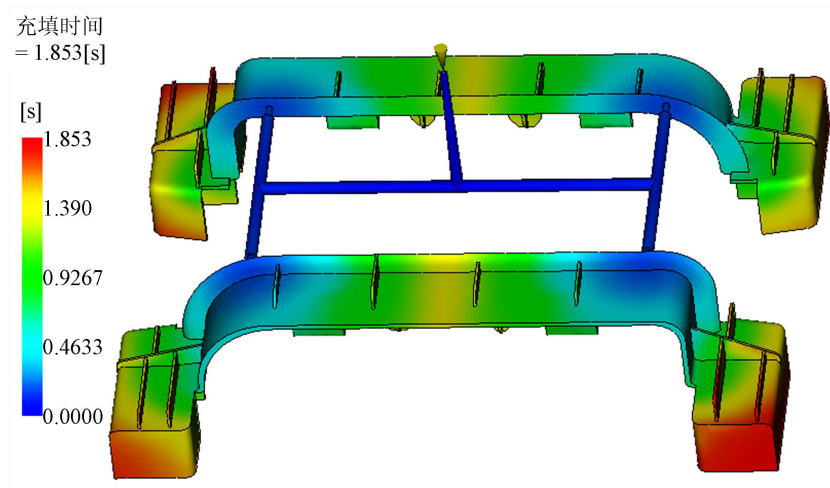


Figure 5. Double gate filling time
图 5. 双浇口充填时间

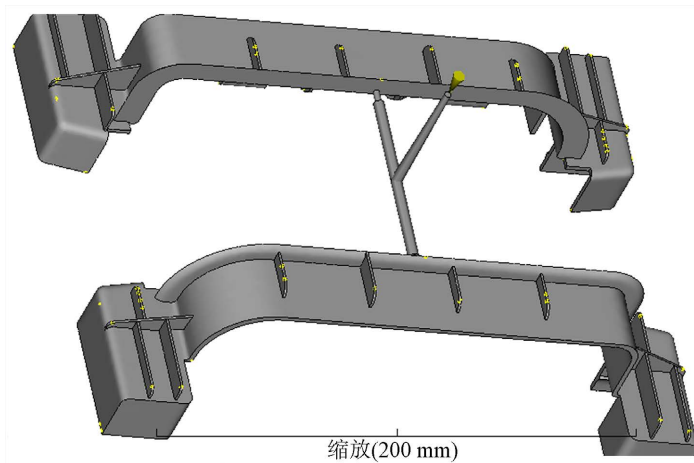


Figure 6. Single gate air pocket
图 6. 单浇口气穴

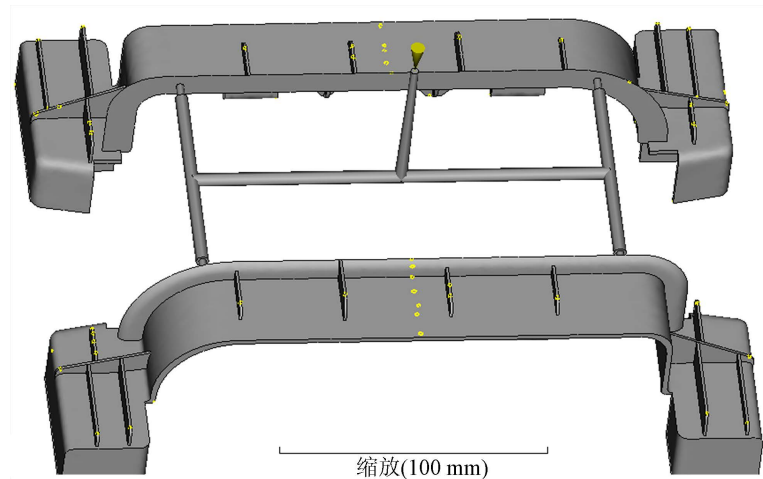


Figure 7. Double gate air pockets
图 7. 双浇口气穴

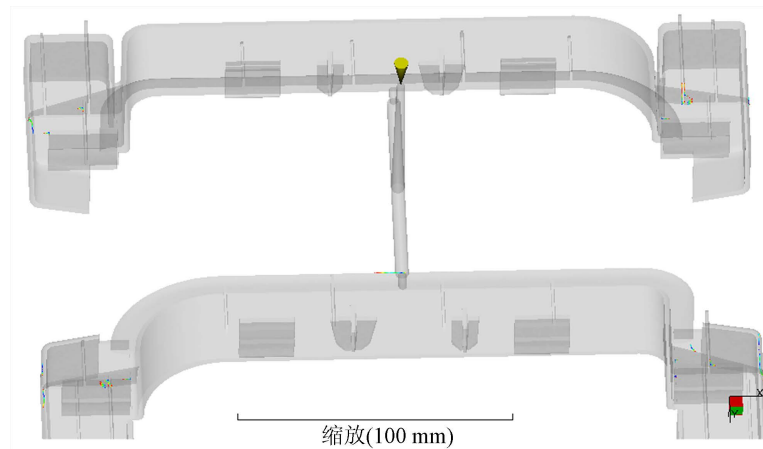


Figure 8. Single gate weld line
图 8. 单浇口熔接痕

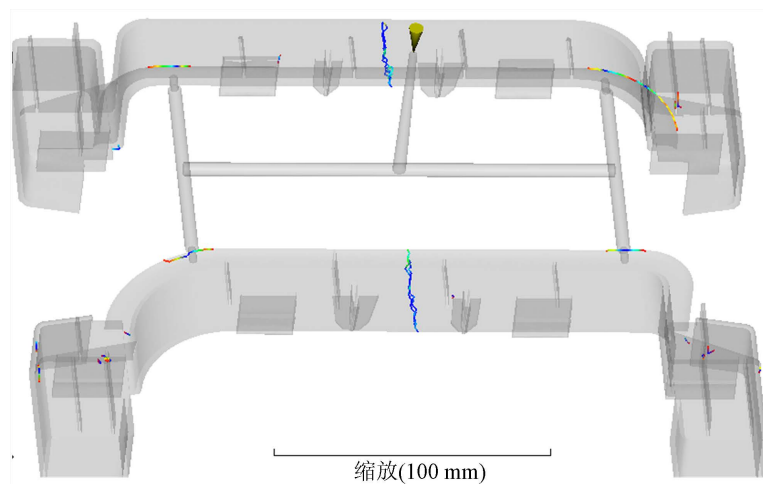


Figure 9. Double gate weld line
图 9. 双浇口熔接痕

虽然双浇口的充填时间比单浇口短，但采用单浇口的气穴数目和熔接痕更少，经过综合比较，采用单浇口的浇注系统。

2.3. 冷却系统设计

有效的冷却系统在注塑生产过程中起到了重要的作用，降低冷却时间，提高生产效率，降低残余应力，提升产品质量[4] [5]。本次设计两个方案进行对比，一个为普通冷却管道，一个为阶梯冷却管道，对比结果如下表 1。

Table 1. Part temperatures for different pipe types
表 1. 不同管道类型下的零件温度

管道类型	零件温度/°C
普通管道	67.95
阶梯管道	66.70

通过比较零件的温度，得出阶梯管道的冷却效果更好，因此采用阶梯管道进行冷却系统的设计，如图 10 所示。

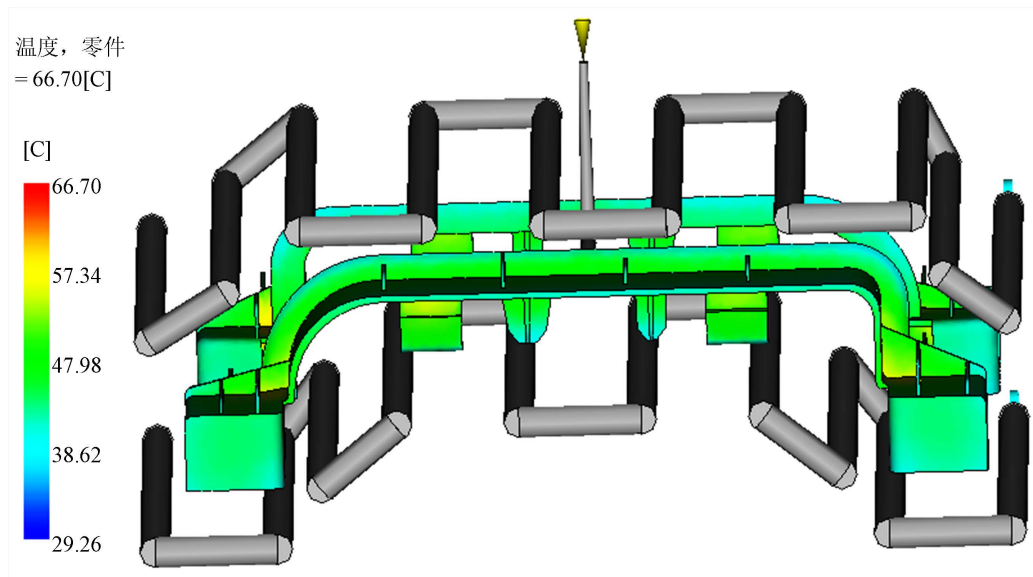


Figure 10. Stepped duct cooling system
图 10. 阶梯管道冷却系统

3. 工艺参数优化正交试验设计

正交试验设计的分析过程包括五个基本步骤，确定试验因素的数量和每个因素的水平，设计适当的正交表，列出试验方案和试验结果，对正交试验设计的结果进行范围分析和回归分析，确定最佳或更好的因素组合[6]。利用正交实验设计法对大量组合进行简化，大大减少试验次数，提高测试效率，以此得出最优的注塑工艺条件[7]。

首先应该明确实验指标，通过对塑件形状，及材料的分析，翘曲是对塑件影响较大的指标。所以实验指标为翘曲。通过成型窗口分析的结果来确定因素的水平。成型窗口分析结果如下图 11 所示。

网络日志 分析日志 成型窗口 成型窗口-检查	
截止模具温度	= 80.0 C
要分析的熔体温度范围	= 自动
起始熔体温度	= 200.0 C
截止熔体温度	= 280.0 C
要分析的注射时间范围	= 自动
计算可行性成型窗口限制	
剪切速率限制	= 关
剪切应力限制	= 关
流动前沿温度下降限制	= 关
流动前沿温度上升限制	= 关
注射压力限制因子	= 1.00
锁模力限制	= 关
计算首选成型窗口的限制	
剪切速率限制因子	= 1.00
剪切应力限制因子	= 1.00
流动前沿温度下降限制	= 10.00 C
流动前沿温度上升限制	= 10.00 C
注射压力限制因子	= 0.80
锁模力限制因子	= 0.80
最大设计锁模力	7000.22 tonne
最大设计注射压力	: 180.00 MPa
推荐的模具温度	: 69.09 C
推荐的熔体温度	: 277.95 C
推荐的注射时间	: 0.7820 s

Figure 11. Analysis results of forming window

图 11. 成型窗口分析结果

根据成型窗口的分析结果确定出各因素及水平，如下表 2。

Table 2. Orthogonal test factors and levels

表 2. 正交试验因素及水平

因素	A 模具温度 /°C	B 保压压力 /MPa	C 保压时间 /s	D 注塑时间 /s	E 注射压力 /MPa	F 熔胶温度 /°C
水平 1	50	50	3	2.0	70	240
水平 2	55	55	4	2.5	75	245
水平 3	60	60	5	3.0	80	250
水平 4	65	65	6	3.5	85	255
水平 5	70	70	7	4.0	90	260

以翘曲量作为正交试验的评判指标，确定了因素和水平后，根据表 2 的数据，列出正交试验表 3。

Table 3. Orthogonal test results

表 3. 正交试验结果

试验号	A 模具温度 /°C	B 保压压力 /MPa	C 保压时间 /s	D 注塑时间 /s	E 注射压力 /MPa	F 熔胶温度 /°C	X 翘曲量 /mm
1	50	50	3	2.0	70	240	1.862
2	50	55	4	2.5	75	245	2.050
3	50	60	5	3.0	80	250	4.775
4	50	65	6	3.5	85	255	5.384
5	50	70	7	4.0	90	260	5.516

Continued

6	55	50	4	3.0	85	260	2.762
7	55	55	5	3.5	90	240	5.005
8	55	60	6	4.0	70	245	5.163
9	55	65	7	2.0	75	250	5.250
10	55	70	3	2.5	80	255	1.915
11	60	50	5	4.0	75	255	4.467
12	60	55	6	2.0	80	260	4.779
13	60	60	7	2.5	85	240	4.319
14	60	65	3	3.0	90	245	2.303
15	60	70	4	3.5	70	250	3.984
16	65	50	6	2.5	90	250	4.616
17	65	55	7	3.0	70	255	4.749
18	65	60	3	3.5	75	260	1.945
19	65	65	4	4.0	80	240	4.908
20	65	70	5	2.0	85	245	4.422
21	70	50	7	3.5	80	245	3.959
22	70	55	3	4.0	85	250	2.745
23	70	60	4	2.0	90	255	2.311
24	70	65	5	2.5	70	260	3.915
25	70	70	6	3.0	75	240	5.490

4. 结果分析

4.1. 设置极差分析表

对实验结果进行统计分析，分析方法一般包括两种，极差分析法和方差分析法，本实验采用极差分析法。极差是各参数在不同的水平下实验结果均值的最大值和最小值的差值。极差分析可以帮助我们清楚地看出各因素对实验目标(翘曲量)的影响程度，列出极差分析表，如下表 4 所示。

Table 4. Range analysis of factor levels

表 4. 因素各水平的极差分析

	A 模具温度 /°C	B 保压压力 /MPa	C 保压时间 /s	D 注塑时间 /s	E 注射压力 /MPa	F 熔胶温度 /°C
L1	3.8774	3.4932	2.014	3.6848	3.8946	4.2768
L2	3.919	3.8656	3.203	3.263	3.8404	3.5794
L3	3.9704	3.7026	4.5168	4.0158	3.9672	4.274
L4	4.128	4.352	5.0864	4.0554	3.9264	3.6652
L5	3.684	4.1654	4.7586	4.5598	3.9502	3.7834
R	0.444	0.8588	3.0724	1.2968	0.1268	0.6974
排序	5	3	1	2	6	4

注意：Li 表示第 i 个因子水平下的均值，R 为因子水平的极差。Ri 越大，表示所对应的工艺参数对翘曲变形量的影响越大[8]。根据极差大小排序，可以得出各参数对翘曲的影响大小为保压时间 > 注塑时间 > 保压压力 > 熔胶温度 > 模具温度 > 注射压力。

4.2. 均值折线图

根据极差计算结果，将试验因素水平作为横坐标，以翘曲变形量作为纵坐标，运用 origin 软件绘制折线图，如图 12 所示。

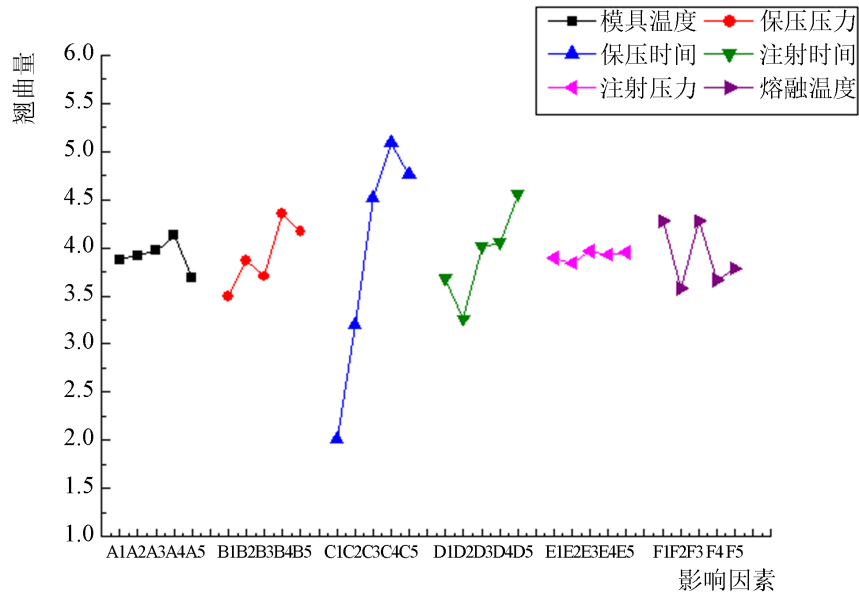


Figure 12. Warpage deformation line chart

图 12. 翘曲变形量折线图

通过该折线图所示，我们可以发现当翘曲量取最小值时各因子的最佳优化组合为 A5B1C1D2E2F2。将其代入 Moldflow 软件中，即当模具温度为 70℃、保压压力为 50 MPa、保压时间为 3 s、注塑时间为 2.5 s、注射压力为 75 MPa、熔融温度为 245℃时，可以得到最小的翘曲变形量为 1.814 mm，与未进行优化前的翘曲变形量 2.303 mm 相比，有了很大的改进，如图 13 和图 14 所示。

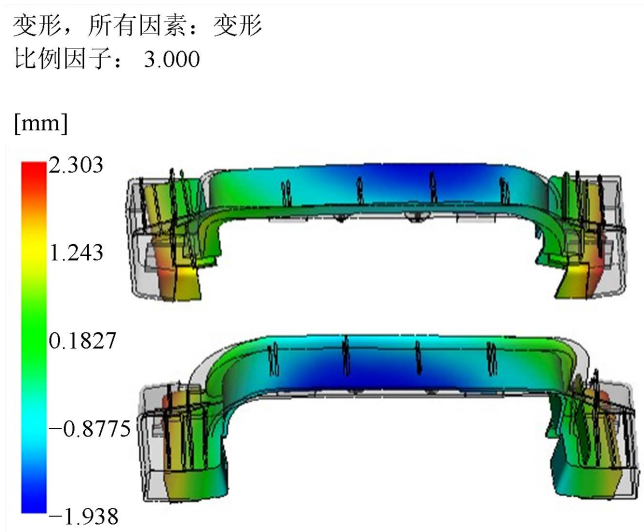


Figure 13. Warpage deformation before optimization

图 13. 未优化前的翘曲变形量

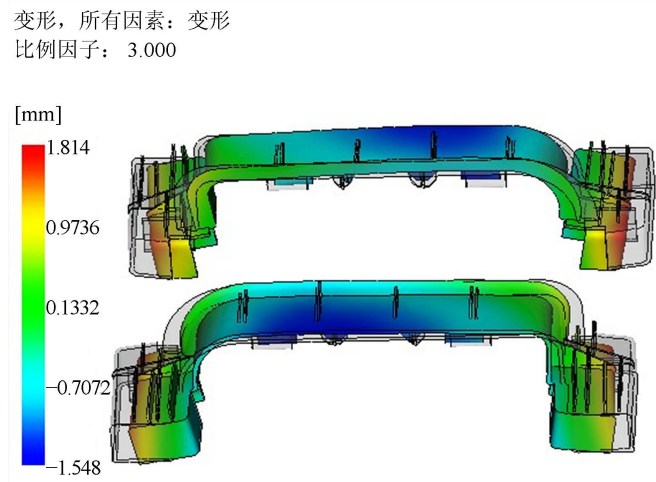


Figure 14. A5 B1 C1 D2 E2 F2 combined optimized warpage deformation

图 14. A5 B1 C1 D2 E2 F2 组合优化后的翘曲变形量

5. 结束语

本文以汽车导航仪外框固定架为研究对象, 过正交试验法和 Moldflow 模流分析软件, 找到了模具设计和工艺参数组合的最佳方案, 改善了产品质量、缩短了生产周期并且降低了生产成本, 对提高生产效率起到了巨大的作用。

该塑件采用单浇口的浇注系统, 采用一模两腔的结构, 使用阶梯管道进行冷却系统的设计。通过正交试验和极差分析可得出各主要工艺参数对翘曲变形量的影响程度大小为保压时间 > 注塑时间 > 保压压力 > 熔胶温度 > 模具温度 > 注射压力。最优的工艺参数组合为 A5B1C1D2E2F2, 即当模具温度为 70℃、保压压力为 50 MPa、保压时间为 3 s、注塑时间为 2.5 s、注射压力为 75 MPa、熔融温度为 245℃ 时, 此时塑件的翘曲变形量最小为 1.814 mm, 与未优化前相比, 降低了 21.2% 的翘曲变形量。

参考文献

- [1] Dzulkipli, A.A. and Azuddin, M. (2017) Study of the Effects of Injection Molding Parameter on Weld Line Formation. *Procedia Engineering*, **184**, 663-672. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.135>
- [2] 陈开源, 张斌. 基于 Moldflow 的风机外壳翘曲优化分析[J]. *塑料*, 2020, 49(3): 66-69, 126.
- [3] Subramanian, N.R., Lin, T.Y. and Seng, Y.A. (2005) Optimizing Warpage Analysis for an Optical Housing. *Mechatronics*, **15**, 111-127. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2004.05.004>
- [4] 黄智. 汽车保险杠注射模设计[J]. *模具制造*, 2020, 20(1): 60-63.
- [5] 蔡国辉, 曹新鑫, 吴梦林, 等. 基于 Moldflow 的 ABS 水龙头注塑模拟分析与优化[J]. *塑料*, 2019, 48(4): 105-107.
- [6] 田胜元, 萧曰嵘. 实验设计与数据处理[M]. 武汉: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [7] 邢继军. Moldflow 软件在汽车塑料件成型中的应用[J]. *塑料工业*, 2019, 47(5): 18-20.
- [8] 赵达峰, 刘泓滨, 郭文博. 基于正交试验法飞机支线架模具优化设计及缺陷分析[J]. *农业装备与车辆工程*, 2020, 58(11): 37-41.