

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.11.014

车门内饰塑件翘曲变形分析及成型工艺优化

于佳丽¹, 张继祥¹, 李又兵², 周建军³

(1. 重庆交通大学机电与车辆工程学院, 重庆 400074; 2. 重庆理工大学材料科学与工程学院, 重庆 400054;

3. 重庆平伟汽车零部件有限公司, 重庆 400026)

摘要:以汽车车门塑件为主要研究对象,探究了原材料纤维含量、浇口形式、保压压力、注射压力以及熔体温度五个因素对该薄壁塑件成型翘曲的影响规律。运用 Taguchi 试验方法进行工艺优化,并结合单因素试验对结果进行分析。通过 16 组试验得到最佳参数组合为注射压力 155 MPa,保压压力 130 MPa,熔体温度 215℃,采用 4 个顶部浇口+1 个侧浇口的浇口形式,玻璃纤维含量为 20%。结果表明该塑件的翘曲量得到明显减小,由原来的 37.34 mm 减小到 1.883 mm,制品的质量得到显著提高。综合分析所有试验结果得出,纤维含量和浇口形式这两个因素对该车门塑件翘曲变形影响最为显著,而收缩不均造成塑件产生翘曲变形的的主要原因。

关键词:汽车车门;翘曲;正交试验;模流分析

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)11-0078-06

Warpage Deformation Analysis and Molding Process Optimization of Door Interior Plastic Parts

Yu Jiali¹, Zhang Jixiang¹, Li Youbing², Zhou Jianjun³

(1. School of Mechanical-electronic and Vehicle Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. School of Materials Science and Engineering, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China;

3. Chongqing Pingwei Automotive Polytron Technologies Inc., Chongqing 400026, China)

Abstract : The door plastic part in automobiles was taken as the research object, and the influence of fiber content, gate form, packing pressure, injection pressure and melt temperature on the forming warpage of thin-wall plastic part were explored. Taguchi method was used to optimize the process, and the results were analyzed by single factor test. Through 16 groups of experiments, the best combination of parameters is obtained with injection pressure 155 MPa, holding pressure 130 MPa, melt temperature 215℃, using the gate form of four top gates and one side gate, glass fiber content 20%. The results show that the warpage of the plastic part is significantly reduced from 37.34 mm to 1.883 mm, and the quality of the product is significantly improved. Comprehensive analysis of all the test results show that the fiber content and gate form are the two most significant factors affecting the warpage of the door plastic parts, and the uneven shrinkage is the main reason for the warpage of the plastic parts.

Keywords : automobile door ; warpage ; orthogonal test ; Moldflow analysis

如今汽车行业发展迅猛,人们对于汽车的能耗等问题有了更高的需求,为了减轻车身自重,提高汽车性能,汽车内饰件一般选择使用塑料结构^[1-2],汽车门板就是其中主要的一部分。塑料加工行业市场竞争日趋严峻,汽车企业若要在激烈的竞争中争得一席之地,就必须注重产品质量,产品的技术含量以及对供求关系的掌握。所以在改善产品质量、缩短

生产周期以及降低生产成本这三方面上,一直是行业内许多学者和商家不断改进技术的动力源泉^[3]。计算机辅助工程(CAE)技术日益成为解决塑料产品开发中薄弱环节的有效途径^[4]。

汽车车门在注塑成型时,浇注及冷却系统的设计合理性会对塑件成型的质量产生直接影响^[1]。翘曲变形是塑件中常见的缺陷之一^[5],其产生原因是

基金项目:重庆市技术创新与应用发展重点专项(鲁渝科技协作计划项目 cstc2020jsx-lyggX0007),重庆市研究生导师团队建设项目(JDDSTD2019007),重庆市研究生联合培养基地项目(JDLHPYJD2020032)

通信作者:张继祥,博士,教授,主要研究方向为塑料成型技术及模具设计

收稿日期: 2021-08-19

引用格式: 于佳丽,张继祥,李又兵,等. 车门内饰塑件翘曲变形分析及成型工艺优化[J]. 工程塑料应用,2021,49(11): 78-83,88.

Yu Jiali, Zhang Jixiang, Li Youbing, et al. Warpage deformation analysis and molding process optimization of door interior plastic parts[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(11): 78-83, 88.

是塑件在成型过程中的残余应力释放导致的^[6-7]。根据现代塑料制品翘曲理论,材料、形状以及成型工艺参数是影响翘曲的几个因素^[8-9]。在实际生产过程中,成型工艺参数对塑件质量的影响存在很多不确定因素,因此通过对工艺参数优化来提高注塑制品质量是较为可行的。

长期以来,国内外学者为减小薄壁注塑件的翘曲变形量做了大量的研究。如段聪杰^[10]在对基于Moldflow的麻纤维增强聚丙烯(PP)汽车内饰件注塑成型研究中显示,充填时间、熔体温度和保压压力等对制件翘曲变形均有一定影响。秦海涛等^[11]使用正交试验对薄壁塑件的翘曲分析中发现,熔体温度和保压时间是对薄壁塑件翘曲变形有一定影响的因素。丛穆等^[12]在对汽车塑料门板翘曲变形原因分析和优化的研究过程中发现,浇口位置对于汽车塑料门板的翘曲是有显著影响的。Mukras等^[13]采用遗传算法,从熔体温度、模具温度、注射时间和注射压力等工艺参数对塑件翘曲变化影响的角度进行分析,找到最佳参数值,减小了塑件的翘曲变形量。Davide等^[14]通过试验研究发现熔体温度和充填压力等对薄壁塑件收缩产生的影响较为显著。综合各学者的研究发现,认为保压压力、保压时间、熔体温度、模具温度、注射压力、注射速度等均会对塑件的翘曲变形量产生较大影响。

从生产实践来看,浇口形式和纤维含量两个因素也会对薄壁塑件的翘曲变形产生一定影响,而目前在这两方面的综合研究比较少,笔者针对塑件翘曲变形问题,选择注射压力、保压压力、熔体温度、原材料纤维含量以及浇口形式五个因素,设计Taguchi优化试验方案,并利用Moldflow分析平台,进行注塑CAE模拟和工艺优化分析,从而找出最优的工艺参数组合,最终实现提高塑件质量的效果。

1 建模及优化试验设计

1.1 塑件分析及有限元建模

选取简化的汽车车门塑件为模型,其外形尺寸大致为954 mm×610 mm×2.5 mm,如图1所示。车门塑件属于大型薄壁塑件,且外形结构复杂,容易产生翘曲变形、气穴与熔接痕等缺陷^[15-16],在注塑成型时熔体流动也较为困难。塑件表面精度要求高,不允许存在明显的缩痕、飞边、熔接痕等缺陷。材料使用由SF Hoechst生产的PP,在其中添加适量的玻璃纤维可能有助于改善材料的流变特性,在一定程度上减小翘曲等缺陷的产生。

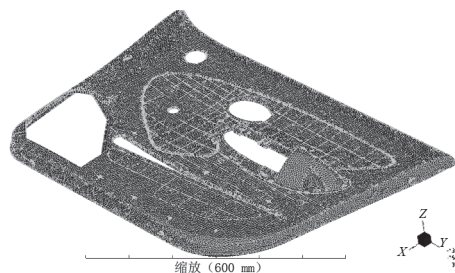
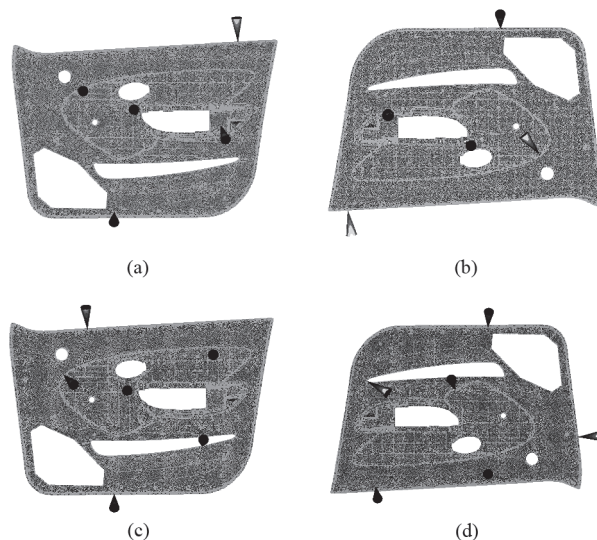


图1 塑件简化模型

将塑件的三维数据以IGES格式导入到Moldflow Plastics insight 2018,选择双面网格类型进行有限元网格划分,得到该塑件的有限元网格模型。平均纵横比为2.10,网格匹配率达到89.9%,该网格满足分析要求。

采用一模一腔的模具结构,以点浇口和侧浇口结合的进胶方式进行注塑模拟,浇口采用4种形式,分别为E1(4顶部浇口+1侧浇口),E2(1顶部浇口+4侧浇口),E3(2顶部浇口+4侧浇口)和E4(4顶部浇口+2侧浇口),如图2所示。由于塑件尺寸较大导致熔体填充困难,塑件可变性大、流道内材料浪费等诸多问题,根据经验采用热流道浇注成型。主流道入口直径为5 mm,拔模角设定为3°,流道直径为10 mm,竖直流道底部直径为10 mm。



a—E1 ; b—E2 ; c—E3 ; d—E4

图2 浇口形式

为了保证制品能够冷却均匀,冷却水管之间中心距应为管道直径的3~5倍^[10]。经过实验,设计出较为合适模型的浇注系统和冷却系统,具体参数如下:冷却水管直径为10 mm,水管与零件间距离为25 mm,设置21根管道,各水管中心间距为30 mm,管道在零件外的距离为475 mm。用模流

分析软件 Moldflow 按照预定设计创建浇注系统和冷却系统,如图 3 所示。

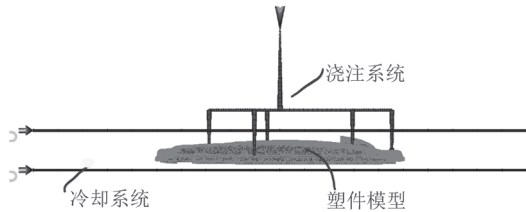


图3 浇注、冷却系统模型

1.2 成型工艺优化方案

Taguchi 方法的核心为参数设计^[16-17],应用正交试验设计,分析试验结果得出影响显著因素以及最优工艺参数。利用 Moldflow 软件模拟制件成型及翘曲过程,对过程中的几个主要参数进行 Taguchi 优化,最终实现预期目标。

影响翘曲量的参数众多,从中选取对塑件影响相对来说较为显著的注射压力(A)、保压压力(B)和熔体温度(C),以及目前研究较少的原材料纤维含量(D)和浇口形式(E)共五个因素,根据注塑成型的工艺范围各取四个水平,利用 SPSS 软件生成一个五因素四水平的正交试验表。表1为正交试验因素水平表,表2为正交试验安排及其结果。表中选取该薄壁塑件发生翘曲变形最大的Z方向(即垂直车门塑件表面的方向,如图1所示)为指标。

表1 因素水平表

水平	A/MPa	B/MPa	C/℃	D/%	E
1	110	100	215	0	E1
2	125	115	230	10	E2
3	140	130	245	20	E3
4	155	145	260	30	E4

表2 正交试验安排及结果

试验号	A/MPa	B/MPa	C/℃	D/%	E	Z方向翘曲变形量/mm	信噪比
1	110	115	260	20	E3	3.260	-10.264
2	110	130	230	30	E4	10.93	-20.772
3	110	100	215	0	E2	13.31	-22.484
4	110	145	245	10	E1	3.738	-11.453
5	125	100	245	20	E4	4.119	-12.296
6	125	130	260	10	E2	3.750	-11.481
7	125	115	230	0	E1	14.32	-23.119
8	125	145	215	30	E3	14.66	-23.323
9	140	145	230	20	E2	2.214	-6.904
10	140	130	245	0	E3	27.99	-28.940
11	140	115	215	10	E4	9.360	-19.426
12	140	100	260	30	E1	4.740	-13.516
13	155	115	245	30	E2	5.317	-14.513
14	155	145	260	0	E4	37.34	-31.444
15	155	100	230	10	E3	7.123	-17.053
16	155	130	215	20	E1	1.883	-5.497

2 结果与讨论

2.1 影响因素的显著性判断

由于正交试验方法不能准确区分试验结果的变化是由哪些因素引起的,也不能进行显著性判别,而方差分析结果可以更为明了地解决这一问题,所以采用均值分析与方差分析的方法,将塑件翘曲变形值转化为信噪比期望值,转化公式见式(1)。

$$S/N = -10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

其中: S/N 为信噪比; n 为试验次数; y_i 为第*i*次试验结果。

16组试验的信噪比值见表2。根据各组试验的信噪比值,计算出各个因素在四个水平下的均值及极差,见表3。对于实验结果的数据处理,采用以下方法:①计算偏差平方和 S_i ;②计算误差自由度 f ;③计算均方差 V_A ;④计算统计数值 F ;⑤计算极差 R 。可以通过五种计算方法综合考虑各因素影响的显著性。方差分析结果见表4。

表3 翘曲变形信噪比均值及极差分析结果

项目	A	B	C	D	E
均值1	-16.243	-16.337	-17.683	-26.497	-13.846
均值2	-17.555	-16.831	-16.962	-14.853	-13.396
均值3	-17.196	-16.673	-16.801	-8.740	-19.895
均值4	-17.127	-18.281	-16.676	-18.031	-20.985
极差R	1.312	1.944	1.007	17.757	7.589

表4 方差分析结果

因素	S_i	f	V_A	F	显著性
A	3.728	3	1.243	0.004	
B	8.849	3	2.950	0.010	
C	2.435	3	0.812	0.003	
D	656.358	3	218.786	0.763	显著
E	188.776	3	62.925	0.219	比较显著

从表2的16组试验结果可以直接看出,第16组试验是其中Z方向翘曲变形量最小的(1.883 mm),其因素水平组合为 $A_4B_3C_1D_3E_1$ 。从表3的极差分析可以得到各因素对塑件翘曲变形的影响顺序为:纤维含量>浇口形式>保压压力>注射压力>熔体温度。从表4的方差分析可以得到纤维含量和浇口数量这两个因素是对塑件翘曲变形量作用最为显著的。综合表3和表4可以认为,对车门塑件翘曲变形量作用的显著性因素是一致的。图4为各因素水平与翘曲变形的关系,通过5个因素的点线图对比可以非常直观地看出每个因素对塑件的翘曲变形量影响,其中纤维含量和浇口形式两个因素随着参数水平的改变变化最大。综合分析可以确定纤维含量和浇口形式为影响显著性因素。

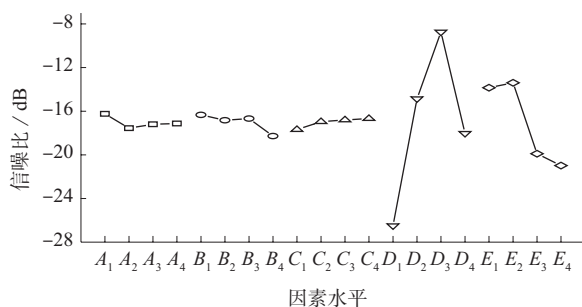
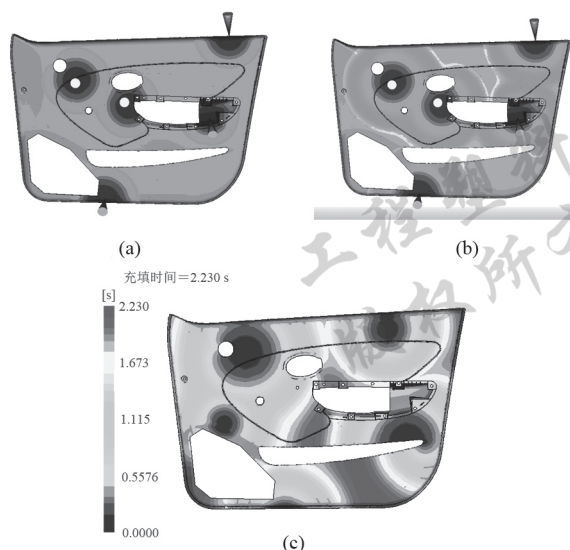


图4 因素水平与指标关系

2.2 注塑成型过程分析

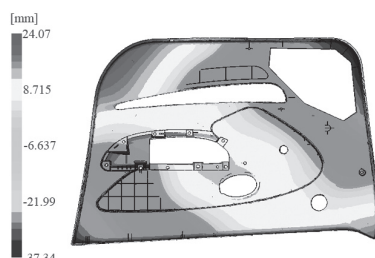
在最佳工艺参数下,即注射压力为 155 MPa,保压压力 130 MPa,熔体温度 215 ℃,纤维含量 20%,采用 4 个顶部浇口+1 个侧浇口,车门塑件的注塑充填过程如图 5 所示。从模流分析结果来看,5 浇口将整个塑件分为 5 个充填区域,经 2.23 s 流料可以完全充填到塑件的各个区域。



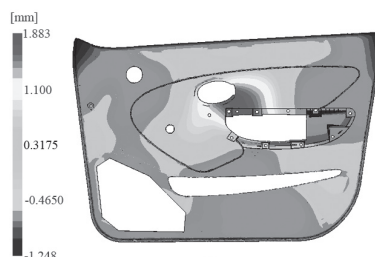
a—充填 0.6 s 左右时;b—充填 1.3 s 左右时;c—充填完成

图5 充填过程

图 6~图 8 为优化前后两种工艺参数下塑件 Z 向最大翘曲变形量对比。优化前的工艺参数为注射压力 155 MPa,保压压力 145 MPa,熔体温度 260 ℃,材料中不添加纤维,浇口形式为 4 个顶部浇口+2 个侧浇口,优化后的工艺参数为上述最佳方案。从 Moldflow 的仿真结果中可以看出以下几点:①该塑件的 Z 向最大翘曲变形量由原来的 37.34 mm 变为 1.883 mm,如图 6 所示;②由冷却不均引起的塑件 Z 向翘曲变形由原来的 0.006 mm 变为 0.004 mm,如图 7 所示;③由收缩不均引起的 Z 向翘曲变形量由原来的 37.34 mm 减小到 3.011 mm,如图 8 所示。综上可知,塑件的翘曲变



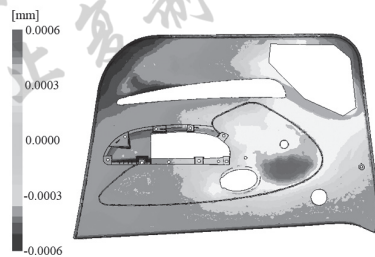
(a)



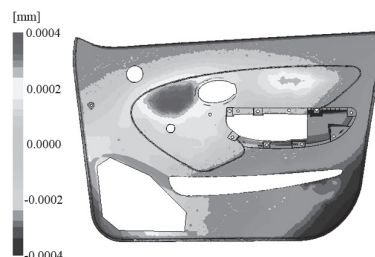
(b)

a—优化前;b—优化后

图6 Z向最大翘曲变形量



(a)



(b)

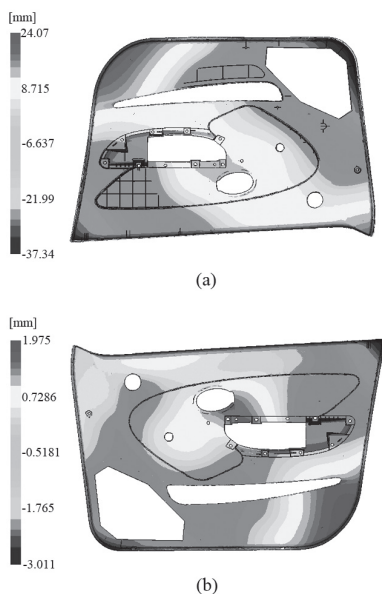
a—优化前;b—优化后

图7 冷却不均引起的 Z 向翘曲变形量

形主要是由于收缩不均引起的。通过设置不同的工艺参数组合,可以看到塑件翘曲变形量发生了较大的变化,前后对比明显,塑件质量得到提高。

2.3 各因素影响规律分析

为进一步探究单个因素对薄壁塑件翘曲变形量的影响,选取纤维含量和浇口形式两个较为显著的因素做单因素试验分析,这对于设置更精确的成型条件和优化工艺参数有着指导意义^[14]。



a—优化前; b—优化后

图8 收缩不均引起的Z向翘曲变形量

图9为注射压力155 MPa、保压压力130 MPa、熔体温度215℃、采用4个顶部浇口+1个侧浇口的工艺条件下,纤维含量对塑件翘曲变形量的影响。由图可知,车门塑件材料中的纤维含量对翘曲影响是较为显著的,加入适量纤维可以改善PP材料的性能,从而达到减小翘曲变形的效果。当加入20%的玻璃纤维时,翘曲变形量达到最小。材料中不加纤维或加入过量纤维都会造成翘曲变形量增加。

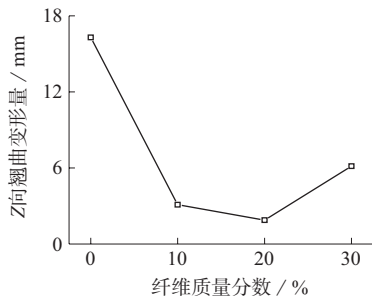


图9 不同纤维含量的Z向翘曲变形量

图10为注射压力155 MPa、保压压力130 MPa、熔体温度215℃、纤维含量20%时,采用不同浇口形式时翘曲变化的情况。由图可见,不同浇口形式对于车门塑件的翘曲变形量也是有显著影响的,就该塑件来看,4个顶部浇口+1个侧浇口的组合形式是较为合理的,能让车门塑件有较小的翘曲变形。

不合理的浇口形式,不仅影响塑件的翘曲变形量,也对气穴、熔接痕和缩痕等表面质量判定因素有

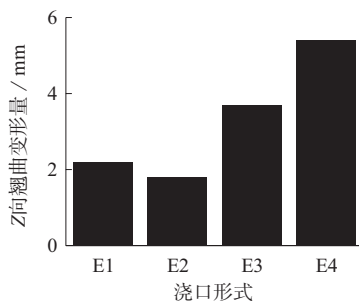
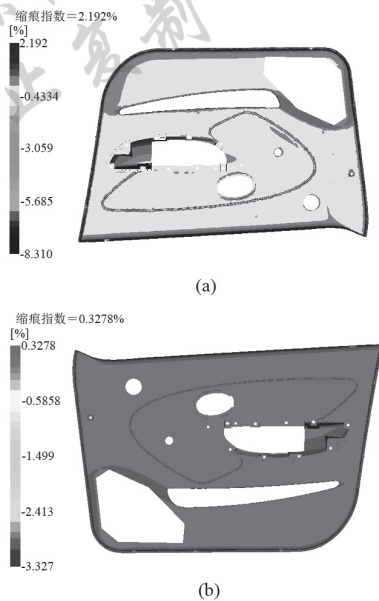


图10 不同浇口形式的Z向翘曲变形量

一定的影响,通过Moldflow模拟分析可清晰看到浇口形式对气穴、熔接痕和缩痕等的影响。图11、图12为浇口形式优化前后对塑件缩痕和熔接痕的影响对比。可以看出,最佳浇口形式可以明显减小缩痕;由于该车门薄壁塑件属于大型结构复杂件,多个浇口使气穴和熔接痕的产生不可避免,在优化过程中浇口形式的改变对熔接痕影响轻微。



a—优化前; b—优化后

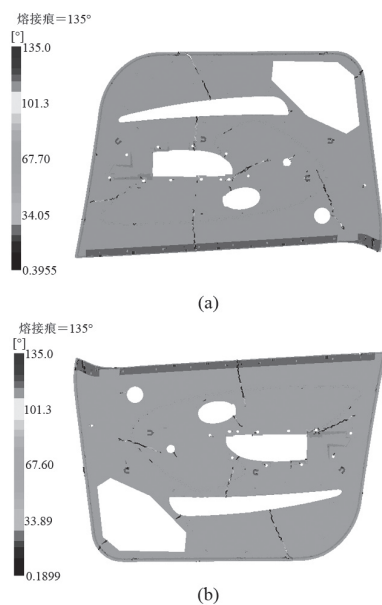
图11 不同浇口形式的缩痕指数

综合来看,合理的结构形式比如对浇口数量和形式作出相应调整可以达到解决充填不足或减少缩痕等缺陷的目的。

3 结论

(1) 针对研究的车门塑件,各因素对该塑件影响的显著性顺序为:纤维含量>浇口形式>保压压力>注射压力>熔体温度。

(2) 纤维含量对该塑件的翘曲变形影响最大,最佳玻璃纤维含量为20%;其次为浇口形式,最



a—优化前;b—优化后

图 12 不同浇口形式的熔接痕

佳浇口形式为 4 个顶部浇口 + 1 个侧浇口。根据模拟试验得到的最优工艺参数组合为:注射压力 155 MPa,保压压力 130 MPa,熔体温度 215 °C,纤维含量 20%,4 个顶部浇口 + 1 个侧浇口的浇口形式。

(3) 收缩不均是影响该薄壁塑件翘曲变形的主要因素。

参考文献

- [1] 李芳,贾宇霖,黄清刚. 基于 Moldflow 的汽车门板塑件模流分析[J]. 模具工业,2017,43(8):10-14.
Li Fang, Jia Yulin, Huang Qinggang. Moldflow analysis of automobile door panel plastics based on moldflow[J]. Mould Industry, 2017, 43(8):10-14.
- [2] 房宇飞,宁世儒,苏建军,等. 基于结构-工艺协同优化的车门外板冲压成形[J]. 精密成形工程,2019,11(2):22-27.
Fang Yufei, Ning Shiru, Su Jianjun, et al. Stamping and forming of outer door panel based on structure-process synergistic optimization[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2019, 11(2):22-27.
- [3] 刘荣亮. 薄壁注塑件成型工艺参数优化研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2014:5-7.
Liu Rongliang. Study on optimization of molding parameters of thin wall injection molding parts[D]. Changsha:Central South University of Forestry and Technology, 2014:5-7.
- [4] 王良柱,徐静. 基于 Moldflow 的汽车仪表板本体骨架变形分析及结构改进[J]. 塑料工业,2021,49(3):59-63,68.
Wang Liangzhu, Xu Jing. Deformation analysis and structural improvement of the instrument panel frame based on Moldflow[J]. China Plastics Industry, 2021, 49(3):59-63, 68.
- [5] 许建文,刘斌. 平板类塑件翘曲变形数值模拟与实验分析[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2018,39(5):636-641.
Xu Jianwen, Liu Bin. Numerical simulation and experimental analysis of flat plastic products' warpage[J]. Journal of Huaqiao University:Natural Science, 2018, 39(5):636-641.
- [6] 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.
- [7] 林莅苙,谭安平. 基于 Moldflow 的大型细长塑料件的翘曲变形分析[J]. 模具技术,2021(1):14-19.
Lin Lili, Tan Anping. Warpage analysis of large slender plastic based on Moldflow[J]. Die and Mould Technology, 2021(1):14-19.
- [8] Liao S J, Chang D J, Chen H J, et al. Optimal process conditions of shrinkage and warpage of thin-wall parts[J]. Polymer Engineering and Science, 2004, 44(5):917-928.
- [9] 沈国保,张驰,赵玲杰,等. 薄壁塑件的翘曲数值分析及模具补偿[J]. 精密成形工程,2015,7(1):51-55.
Shen Guobao, Zhang Chi, Zhao Lingjie, et al. Numerical Simulation and mold compensation of warpage for thin-wall plastic parts[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2015, 7(1):51-55.
- [10] 段聪杰. 基于 Moldflow 的麻纤维增强聚丙烯汽车内饰件注塑成型研究[D]. 长春:吉林大学,2016:6-7,11.
Duan Congjie. Study on injection molding of fiber reinforced polypropylene composites for automobile interior decoration based on Moldflow[D]. Changchun:Jilin University, 2016:6-7, 11.
- [11] 张继祥,秦海涛,高波,等. 基于正交实验的薄壁塑件翘曲变形模拟分析[J]. 塑料工业,2013,41(9):64-86.
Zhang Jixiang, Qin Haitao, Gao Bo, et al. Simulation analysis of warpage deformation of thin-walled plastic parts based on orthogonal experiment[J]. China Plastic Industry, 2013, 41(9):64-86.
- [12] 丛穆,江梅. 汽车塑料门板翘曲变形原因分析及优化[J]. 汽车工艺与材料,2004(12):39-42.
Cong Mu, Jiang Mei. Analyse and optimize the warpage of plastic door inner molding[J]. Automobile Technology & Material, 2004(12):39-42.

- 2002(4):190-191.
- Bao Chunyang, Liu Wenjuan. Surface modification for hard bonding plastics[J]. Chemistry and Adhesion, 2002(4):190-191.
- [10] 蒲锐. 聚脲涂层与聚丙烯基材附着性能改性研究 [D]. 青岛: 青岛理工大学, 2019.
- Pu Rui. Study on modification of adhesion between polyurea coating and polypropylene substrate[D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2019.
- [11] 邸哲. 碳纤维低压等离子体处理及其聚丙烯树脂复合材料界面性能的研究 [D]. 上海: 东华大学, 2020.
- Di Zhe. Low-pressure plasma treatment on carbon pressure plasma treatment on carbon fiber and its reinforced polypropylene resin composites' interfacial properties[D]. Shanghai: Donghua University, 2020.
- [12] 胡智清, 周全, 熊建武. 国内车用改性聚丙烯的研究现状及进展 [J]. 工程塑料应用, 2017, 45(6):145-148.
- Hu Zhiqing, Zhou Quan, Xiong Jianwu. Research status and development of modified polypropylene for vehicle at home[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(6):145-148.
- [13] 赵馨彤, 闫俊. 大气压低温等离子体技术对纤维表面改性的研究进展 [J]. 纺织导报, 2020(8):53-57.
- Zhao Xintong, Yan Jun. Research progress of fiber surface modification by non-thermal plasma at atmospheric pressure[J]. China Textile Leader, 2020(8):53-57.
- [14] 王成群, 王琛, 贺云云. 低温等离子体技术及其对纤维表面改性的研究进展 [J]. 印染助剂, 2007(9):7-11.
- Wang Chengqun, Wang Chen, He Yunyun. Research developments of the low temperature plasma technology and the fiber surface modification therewith[J]. Textile Auxiliaries, 2007(9):7-11.
- [15] 孟灵非. 低温等离子体灭菌设备的研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2015.
- Meng Lingfei. Study on the low temperature plasma sterilization equipment[D]. Xi'an: Xidian University, 2015.
-
- (上接第 83 页)
- [13] 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.
- [14] Davide M, Jitendra R, Marco S, et al. Analysis of the shrinkage of injection-molded fiber-reinforced thin-wall parts[J]. Materials & Design, 2017, 132 :496-504.
- [15] 吴梦陵, 伍太宾. 成形工艺参数对塑件翘曲影响研究 [J]. 精密成形工程, 2010, 2(6):19-23, 50.
- Wu Mengling, Wu Taibin. The research of molding process parameters on the plastic warpage's influence[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2010, 2(6):19-23, 50.
- [16] 谭安平, 向渝, 李才能. 基于 Moldflow 的保险杠不同浇注系统比较分析 [J]. 精密成形工程, 2011, 3(2):68-72.
- Tan Anping, Xiang Yu, Li Caineng. Optimizing analysis of gating system for injecting bumper based on Moldflow[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2011, 3(2):68-72.
- [17] 秦海涛. 薄壁塑件翘曲控制的成型工艺及模具优化研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2014:23-38.
- Qin Haitao. Thin-wall plastic parts warp controlling by researching forming process and mold optimization[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2014:23-38.