

汽车车门把手气辅成型工艺 CAE 优化研究

梁春兰, 胡慧敏, 孙秀倩

(河北科技工程职业技术大学, 河北 邢台 054000)

摘要: **目的** 针对传统汽车车门把手成型工艺在实际应用中塑件收缩变形量大、无法有效控制等问题, 开展汽车车门把手气辅成型工艺优化研究。**方法** 通过确定基于计算机辅助工程的塑件成型方式、设置改造后汽车车门把手塑件结构、优化注塑和注气参数, 提出一种针对汽车车门把手气辅成型的工艺优化方案。**结果** 与优化前成型工艺相比, 采用优化后成型工艺得到的汽车车门把手塑件的收缩变形量明显降低, 汽车车门把手塑件的收缩变形量均能够控制在 0.45% 以下。**结论** 引入计算机辅助工程优化分析技术对实现汽车车门把手整体制件结构设计具有更高的实际应用价值, 有利于提升汽车车门把手设计、生产和加工的效率。

关键词: 汽车车门把手; 气辅成型工艺; 塑件收缩变形; 制件结构

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2022.09.018

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2022)09-0131-05

CAE Optimization of Gas-assisted Forming Process for Automobile Door Handle

LIANG Chun-lan, HU Hui-min, SUN Xiu-qian

(Hebei Vocational University of Technology and Engineering, Hebei Xingtai 054000, China)

ABSTRACT: The work aims to research gas-assisted molding process optimization of automobile door handles to solve problems such as large shrinkage deformation of plastic parts in the actual application of the traditional automobile door handle molding process, which cannot be effectively controlled. Through the determination of the plastic part molding method based on computer-aided engineering, the parting setting of the plastic part of the automobile door handle after the transformation, the optimization of injection molding and gas injection parameters, a process optimization plan for the gas-assisted molding of the automobile door handle was proposed. Compared with the former molding process, the optimized molding process significantly reduced the shrinkage deformation of the plastic parts of the automobile door handle. The shrinkage deformation of the plastic parts of the automobile door handle can be controlled below 0.45%. The introduction of computer-aided engineering optimization analysis technology has higher practical application value for the design of the overall structure of the automobile door handle, and is beneficial to the efficiency improvement of the design, production and processing of the automobile door handle.

KEY WORDS: automobile door handle; gas-assisted molding process; plastic parts shrinkage and deformation; parts structure

气辅成型工艺是一种通过特殊方式将注塑成型工艺和结构发泡成型工艺相结合的全新成型工艺。在实际应用中,传统注塑工艺存在无法实现制件整体结构统一的问题,因此在制作过程中会产生较大的残余应力,最终因过分充气而造成产品产生大量气泡,严重影响产品质量。同时,在应用时还需要对产品进行

喷涂处理,这将无法实现产品生产效率的提升。而气辅成型技术能够将 2 种传统注塑成型工艺的优势结合,并在确保产品质量的前提下,尽可能地降低生产成本,为企业带来更大的利益优势^[1-2]。当前,气辅成型技术及其相关工艺的应用前景十分广阔,在汽车、家电、包装等领域都受到了人们的高度欢迎。同

收稿日期: 2022-07-27

作者简介: 梁春兰(1970—),女,硕士,高级实验师,主要研究方向为新能源汽车零部件设计及仿真。

时,塑料在实际应用中具备一定的优越性,故在汽车设计当中也被广泛应用。汽车中应用塑料材料的零部件众多,包括把手、后视镜、车座牌等^[3-4]。当前应用气辅成型技术生产汽车车门把手的过程存在塑件壁厚大、收缩变形量大等问题。基于此,文中开展了汽车车门把手气辅成型工艺优化研究。

1 汽车车门把手气辅成型工艺优化设计

1.1 基于计算机辅助工程的塑件成型方式确定

基于汽车车门把手塑件的结构特点,利用计算机辅助工程软件对汽车车门把手成型过程进行模拟。初步选择气辅注射成型(GAIM)工艺作为汽车车门把手的塑件成型方式。该成型方式包含了4种不同方案,4种方案的实施操作流程和特点如表1所示。

表1 气辅成型工艺4种方案对比表
Tab.1 Comparison of four schemes of gas-assisted molding process

方案	操作流程	特点
I	扣柄两侧设浇口,侧边设潜伏式浇口	开设位置设置难度小,但气道容易破裂
	方案I的双气口辅助方案	开设位置设置难度大
	浇口设于支架头一侧,采用单个气口	收缩变形得到改善
	单点气口侧向浇注,双侧注气口辅助成型	收缩变形得到改善

对比表1中的4种方案可知,采用方案I和方案I能够达到更加理想的成型效果。为进一步探究方案I和方案I的实际应用效果,引入计算机辅助工程(CAE)技术,利用欠注法对方案I和方案I的体积收缩情况进行对比^[5]。采用气辅成型工艺后,2种方案下的汽车车门把手收缩率均出现了下降,但下降幅度基本维持在4.6%~5.25%范围内。通过数据可知,2种气辅成型工艺方案(方案I和方案I)均能够降低汽车车门把手在成型过程中的收缩变形量。相对于方案I而言,方案I引入了2个侧向的辅助气口,能够在外观结构上进一步缩小收缩变形量,说明通过改变外观正向区域范围内的填充方式,能够在一定程度上实现对收缩变形量的控制。因此,综合外观正面结构以及整体收缩率,方案I的气辅成型效果更优。

1.2 满射法 CAE 分析

利用满射法通过计算机辅助工程(CAE)技术对方案I的体积收缩情况进行分析,结果如图1所示。

可以看出,方案I中塑件收缩率基本降到0.44%左右。此外,塑件整体填充时间减少到5.5s左右,整体结构的填充压力降低到35.2 MPa。通过对方案I的汽车车门把手进行气辅成型模拟得出,熔体的流动性也在一定程度上得到了提高,这对把手结构的充气胀形以及充气保压都有更加积极的作用。综合方案I和方案I的成型效果,文中选用方案I的气辅成型工艺,即单点气口侧向浇注、双侧注气口辅助成型的方法作为汽车车门把手塑件成型方式^[6-7]。

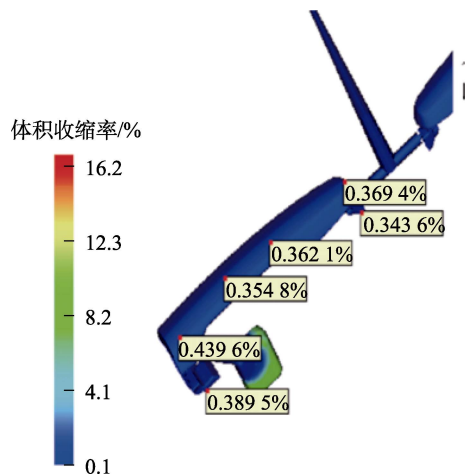


图1 方案I的体积收缩率分析结果

Fig.1 Volume shrinkage analysis results of scheme I

1.3 改造后汽车车门把手塑件结构设置

汽车车门把手塑件的外形结构类似于哑铃形状,在使用过程中,由于该塑件的一侧直接暴露在汽车外部结构表面,因此对汽车车门把手外观正面以及内侧面的工艺要求更高,需要对其尺寸进行更加严格的控制。根据汽车车门把手的外观正面结构、支架头结构、扣柄结构、后座基台结构以及内侧面结构等,将把手的壁厚特征划分为4个不同分区^[8-9],4个不同分区壁厚的最厚上限分别为9.5、2.5、6.5、13.5 mm。将4个不同分区的壁厚设置为不同数值,构成一个厚度不均匀分配的结构,以充分满足汽车车门把手的使用要求。汽车车门把手为汽车制件中使用相对频繁的制件,因此对其强度要求更高,通过增加把手的壁厚可以在一定程度上提高其使用强度。汽车车门把手整体结构的支架头位置、把手位置和扣柄末端位置的壁厚应当相对更厚,扣柄末端位置的壁厚应当相对较薄,因此壁厚不均匀是汽车车门把手的结构特点之一^[10]。汽车车门把手的材质可选用热塑型高分子材料作为汽车车门把手塑件的主要结构材料。该类型材料在实际应用中能够表现出十分良好的耐磨性、韧性和强度,同时,在2个结构之间通过引入热塑型高分子材料可以在一定程度上降低其摩擦因数、减小对材料结构的损坏。热塑型高分子材料性能参数如下:导热系

数为 $0.19\text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$, 比热容为 $2\,350\text{ J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$, 熔体密度为 $0.945\,2\text{ kg}/\text{m}^3$, 推荐注塑温度为 $260\text{ }^{\circ}\text{C}$, 推荐模具温度为 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, 推荐顶出温度为 $86\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最大剪切率为 $12\,500\text{ s}^{-1}$ 。

根据上述基于计算机辅助工程软件得到的数据结果, 在汽车车门把手塑件扣柄结构的一端增加一个溢料槽, 以确保达到更加理想的气辅成型效果^[11-14]。因此, 在进行汽车车门把手塑件结构设置时, 应当将传统塑件结构修改为如图 2 所示的结构形状。

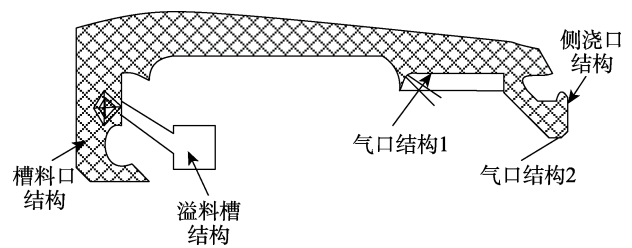


图 2 汽车车门把手气辅成型塑件结构示意图
Fig.2 Schematic diagram of gas-assisted plastic structure for automobile door handle

在实际应用中, 为了减小成型时的收缩变形量, 可采用双向浇注的方式实现对汽车车门把手基本结构的浇注。其中一侧通过潜伏式完成浇注, 另一侧采用侧浇口方式完成浇注。

1.4 注塑和注气参数优化

为了确保最终汽车车门把手气辅成型效果能够满足预期要求, 还需要对注塑和注气过程中的相关参数进行优化设计, 相关参数包括成型材料熔解时的温度、全部熔解后的时间、气体填充耗时、气体填充体积等。为了得到上述多种注塑和注气参数的最优结果, 将汽车车门把手进行因子间交互作用的正交分析, 并对分析结果进行方差计算, 从而更加直观地分析各个工艺参数对汽车车门把手气辅成型质量的影响以及各个工艺参数之间的相互作用对成型质量的影响, 以实现注塑和注气参数组合的优化^[15]。将上述 4 个工艺参数作为因素, 并根据现有汽车车门把手成型推荐配置条件对参数水平进行设定。选择气辅成型工艺实施过程中的气体穿透体积、进气口端壁厚和中间区域壁厚作为评价指标, 以综合反映汽车车门把手气辅成型质量。其中, 气体穿透体积的计算公式如式 (1) 所示。

$$V = \frac{V'}{V_0}$$

(1)

式中: V 为气辅成型工艺实施过程中的气体穿透体积; V' 为气体穿透时形成的气道体积; V_0 为汽车车门把手制件整体体积。通过气体穿透体积的变化情况可以判断气道参数大小设置是否合适, 通过进气口端的壁厚以及中间区域壁厚的变化情况可以判断工艺强度是否符合要求。完成上述分析后, 利用方差大小

分析不同因素对成型质量的影响程度以及各个因素之间的相互作用对成型质量的影响程度, 并选择出对成型质量影响最大的因素。通过统计分析得出上述 4 个工艺参数的方差结果, 方差数值越大, 说明该参数对汽车车门把手气辅成型质量的影响越大, 反之同理^[16-18]。通过对各个参数的方差结果进行统计和比较, 确定了最优注塑和注气参数, 实现了对汽车车门把手气辅成型工艺的优化。

2 实验论证分析

2.1 实验准备

上述论述从理论方面实现了对汽车车门把手气辅成型工艺的优化, 为确保文中提出的优化方案能够在实际应用中解决汽车车门把手塑件壁厚度大和收缩变形大等成型问题, 文中选择利用改进前后的 2 种汽车车门把手气辅成型工艺对同一型号汽车车门把手进行设计和生产。在实验过程中, 对影响汽车车门把手成型质量的相关工艺参数进行设定, 在其变化最高值和最低值之间引入中间值, 设置 5 个不同成型条件, 如表 2 所示。其中熔体温度选择 $210\sim 240\text{ }^{\circ}\text{C}$, 过高和过低的熔体温度均不适合实际生产, 熔体注射时间选择 $6.5\sim 12.5\text{ s}$, 气体注射延迟时间选择 $1.5\sim 4.5\text{ s}$, 气体注射压力选择 $10\sim 16\text{ MPa}$ 。

表 2 5 种汽车车门把手成型条件参数设置
Tab.2 Parameter setting for forming conditions of five automobile door handles

水平	熔体温度/ $^{\circ}\text{C}$	熔体注射 时间/ s	熔体预注 射量	气体延迟 时间/ s	气体注射压力/ MPa
1	210	6.5	94	1.5	10
2	220	8.5	95	2.5	12
3	230	10.5	96	3.5	14
4	240	12.5	97	4.5	16

根据表 2 中 5 种不同的成型条件水平, 分别利用优化前和优化后 2 种成型工艺完成对汽车车门把手的制作成型。设置优化前的汽车车门把手气辅成型工艺为对照组, 优化后汽车车门把手气辅成型工艺为实验组。为了方便对实验组和对照组的工艺成型质量进行比较, 文中选择将制件收缩变形量作为评价指标, 以实现 2 种成型工艺成型质量和效果的量化评价。收缩变形量的计算公式如式 (2) 所示。

$$M = \frac{K - \delta}{K} \times 100\%$$

(2)

式中: M 为汽车车门把手制件的收缩变形量; K 为汽车车门把手设计图纸中制件结构体积标准; δ 为实验组和对照组的汽车车门把手制件实际结构体积

表 3 五因素四水平正交试验结果
Tab.3 Results of five-factor four-level orthogonal test

试验编号	熔体温度/℃	熔体注射时间/s	熔体预注射量/%	气体延迟时间/s	气体注射压力/ MPa	收缩变形量/%
1	210	6.5	97	3.5	12	0.321
2	220	6.5	94	1.5	14	0.452
3	230	6.5	96	4.5	10	0.523
4	240	6.5	95	2.5	16	0.427
5	210	8.5	96	2.5	14	0.423
6	220	8.5	95	4.5	12	0.352
7	230	8.5	97	1.5	16	0.465
8	240	8.5	94	3.5	10	0.678
9	210	10.5	94	4.5	16	0.361
10	220	10.5	97	2.5	10	0.718
11	230	10.5	95	3.5	14	0.397
12	240	10.5	96	1.5	12	0.516
13	210	12.5	95	1.5	10	0.822
14	220	12.5	96	3.5	16	0.358
15	230	12.5	94	2.5	12	0.564
16	240	12.5	97	4.5	14	0.369
K_1	0.482	0.431	0.514	0.564	0.685	
K_2	0.47	0.48	0.5	0.533	0.438	
K_3	0.487	0.498	0.455	0.439	0.41	
K_4	0.498	0.528	0.468	0.401	0.403	
极差	0.028	0.097	0.059	0.163	0.282	

大小。根据式(2)分别得出实验组和对照组在5种不同水平条件下的制件收缩变形量,并将其相关实验数据进行记录,完成实验。

各因素按对收缩变形量的影响程度由大到小的顺序依次为气体注射压力>气体延迟时间>熔体注射时间>熔体预注射量>熔体温度。根据表3结果,获得最优的工艺组合如下:熔体温度为220℃,熔体注射时间为6.5s,熔体预注射量为96%,气体延迟时间为4.5s,气体注射压力为16MPa。

2.2 结果与分析

得到实验组和对照组制件收缩变形量结果分别为0.432%和18.82%。可以看出,实验组满足汽车车门把手成型质量要求的收缩变形量小于0.5%的标准,而对照组收缩变形量超过了15.0%,严重不符合汽车车门把手成型质量要求。同时,在实验过程中发现,由于汽车车门把手结构的特殊性,主梁结构壁厚远远大于其他位置的壁厚^[19-20],采用未优化前的汽车车门把手气辅成型工艺会出现严重的缩痕现象,并且会引发手柄制件出现明显翘曲,严重影响汽车车门把手生产质量。因此,采用文中提出的优化方案改进的汽车车门把手气辅成型工艺在实际应用中能够有效降低制件的收缩变形量,满足汽车车门把手生产后使用的成型质量要求。同时,上述论述也进一步证明,在气辅成型工艺中引入计算机辅助工程实现对工艺参数的模拟,对改善工艺条件和提高实际生产质量具

有十分重要的指导意义。

3 结语

在结合计算机辅助工程(CAE)技术分析的基础上,考虑各个工艺参数对汽车车门把手气辅成型质量的影响,并从多个方面实现对汽车车门把手成型工艺的优化。通过实验的方法进一步证明,优化后的汽车车门把手成型工艺能够有效降低制件的收缩变形量,提高汽车车门把手的整体加工和生产质量。但由于研究能力有限,在对注塑和注气参数进行优化时,受到了因素水平数的限制,因此无法实现对各个参数组合进行全面分析。当前气辅成型技术在实际产品生产和加工中的应用较少,并且存在气辅成型技术落后于当前实际生产技术的問題。因此,在后续的研究中还需要不断结合实际生产,开发并完善适合实际工况的汽车车门把手成型工艺。

参考文献:

- [1] 赵战锋. 基于 Moldflow 的新能源汽车换挡手柄气辅成型工艺优化[J]. 塑料, 2020, 49(4): 78-82.
ZHAO Zhan-feng. Gas-Assisted Forming Process Optimization of New Energy Automobile Handle Based on Moldflow[J]. Plastics, 2020, 49(4): 78-82.
- [2] 陈妍. 注塑成型工艺参数的优化研究进展[J]. 合成树脂及塑料, 2020, 37(3): 90-93.

- CHEN Yan. Research Progress on Optimization of Injection Molding Process Parameters[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2020, 7(3): 90-93.
- [3] ZHAO Peng, DONG Zheng-yang, ZHANG Jian-feng, et al. Optimization of Injection-Molding Process Parameters for Weight Control: Converting Optimization Problem to Classification Problem[J]. Advances in Polymer Technology, 2020(3): 1-9.
- [4] 黄继战, 陈炜, 仇文宁, 等. 汽车音响面板热流道注射成型工艺优化研究[J]. 塑料工业, 2019, 47(10): 88-92.
- HUANG Ji-zhan, CHEN Wei, QIU Wen-ning, et al. Research on Optimization of Hot Runner Injection Molding Process for Car Audio Panel[J]. China Plastics Industry, 2019, 47(10): 88-92.
- [5] 赵战锋. 基于气辅注射成型工艺 CAE 优化的汽车手柄模具设计[J]. 中国塑料, 2020, 34(3): 78-84.
- ZHAO Zhan-feng. Mold Design of Automobile Handle Based on GAIM CAE Optimization[J]. China Plastics, 2020, 34(3): 78-84.
- [6] 张伟, 柳和生, 余忠, 等. 水辅助注射成型制品质量的缺陷及工艺优化研究概述[J]. 中国塑料, 2018, 32(4): 12-17.
- ZHANG Wei, LIU He-sheng, YU Zhong, et al. Overview of Research on Quality Defects and Process Optimization of Water-Assisted Injection Molding[J]. China Plastics, 2018, 32(4): 12-17.
- [7] 周磊, 张凌霄, 危学兵, 等. 汽车 IMD 内饰面板成型工艺优化研究[J]. 塑料科技, 2019, 47(9): 88-93.
- ZHOU Lei, ZHANG Ling-xiao, WEI Xue-bing, et al. Research on the Optimization of Molding Process for Automobile IMD Interior Panel[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(9): 88-93.
- [8] 王汉敏, 吴磊, 张帅. 基于 DOE 的汽车起重机结构件喷涂工艺优化研究[J]. 中国战略新兴产业, 2019(40): 42-43.
- WANG Han-min, WU Lei, ZHANG Shuai. Research on Optimization of Spraying Process for Automobile Crane Structural Parts Based on DOE[J]. China Strategic Emerging Industry, 2019(40): 42-43.
- [9] 刘志峰, 秦利民, 黄海鸿, 等. 冲压工艺低碳成形优化方法研究[J]. 合肥工业大学学报, 2019, 42(1): 1-6.
- LIU Zhi-feng, QIN Li-min, HUANG Hai-hong, et al. Research on Low Carbon Forming Optimization Method for Stamping Process[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2019, 42(1): 1-6.
- [10] 胥刚, 朱双华, 程泊静, 等. 变胞汽车焊接机器人动态焊接工艺参数的设计与优化研究[J]. 内燃机与配件, 2019(9): 119-124.
- XU Gang, ZHU Shuang-hua, CHENG Bo-jing, et al. Research on Design and Optimization of Dynamic Welding Process Parameters of Metamorphic Automobile Welding Robot[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2019(9): 119-124.
- [11] WANG You-min, ZHU Zhao-zhe, TANG Ling-feng, et al. Research on the Molding Design and Optimization of the Molding Process Parameters of the Automobile Trunk Trim Panel[J]. Advances in Materials Science and Engineering, 2020(14): 1-19.
- [12] TIAN Kun-peng, ZHANG Bin, HUANG Ji-cheng, et al. Experimental Research on Optimization of Compression Molding Process Parameters of Pineapple Rind Residue[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2021, 14(3): 221-227.
- [13] 任清海, 王艳波, 耿铁. 气辅成型过程中塑料熔体工艺参数的影响[J]. 塑料, 2022, 51(2): 118-122.
- REN Qing-hai, WANG Yan-bo, GENG Tie. Influence of Polymer Parameters in Gas-Assisted Injection Molding[J]. Plastics, 2022, 51(2): 118-122.
- [14] OLLEY P. An Approximation to the PTT Viscoelastic Model for Gas Assisted Injection Moulding Simulation[J]. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 2020, 278(2): 1-10.
- [15] GIANG N T, MINH P S, SON T A, et al. Study on External Gas-Assisted Mold Temperature Control with the Assistance of a Flow Focusing Device in the Injection Molding Process[J]. Materials, 2021, 14(4): 965.
- [16] YANG Jian-gen, YU Sheng-rui, YU-Ming. Study of Residual Wall Thickness and Multiobjective Optimization for Process Parameters of Water-Assisted Injection Molding[J]. Advances in Polymer Technology, 2020, 2020: 1-11.
- [17] 冯建军, 梁宏斌, 于阳. FDM 快速成型工艺参数的分析与优化研究[J]. 机械科学与技术, 2019, 38(5): 742-748.
- FENG Jian-jun, LIANG Hong-bin, YU Yang. Analysis and Optimization of Process Parameters of FDM Rapid Prototyping[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2019, 38(5): 742-748.
- [18] 任清海, 耿铁. 正交试验优选气辅成型工艺参数[J]. 合成树脂及塑料, 2022, 39(1): 54-59.
- REN Qing-hai, GENG Tie. Optimization of Gas-Assisted Injection Molding Process Parameters Based on Orthogonal Test[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2022, 39(1): 54-59.
- [19] 张斌, 唐春华. U 形提手气辅注射成型分析与优化[J]. 模具技术, 2021, 5(1): 20-25.
- ZHANG Bin, TANG Chun-hua. Analysis and Optimization of Gas Assisted Injection Moulding for U-Shaped Handle[J]. Die and Mould Technology, 2021, 5(1): 20-25.
- [20] 杨亘, 朱慕洁, 畅国伟, 等. 后视镜一体式外壳注射模设计[J]. 模具工业, 2020, 46(10): 41-44.
- YANG Gen, ZHU Mu-jie, CHANG Guo-wei, et al. Design of Injection Mould for Integrated Shell of Rearview Mirror[J]. Die & Mould Industry, 2020, 46(10): 41-44.