

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.10.013

基于预变形的汽车碳罐盖板翘曲变形优化

黄佳佳¹, 杨良波², 张云青¹, 欧相麟², 叶南彪²

(1. 上海金发科技发展有限公司, 上海 201714; 2. 金发科技股份有限公司, 广州 510520)

摘要: 针对某汽车碳罐盖板注塑成型生产中易发生严重翘曲变形, 导致其焊接面尺寸精度不足, 无法与碳罐罐体通过振动摩擦焊接形成封装的问题, 通过合理的预变形优化设计方法, 即通过零件实物扫描测量, 结合 Moldflow 及 Hypermesh 仿真分析, 并在关键的预变形量设定过程中考虑盖板实际成型变形量与其在 Moldflow 中仿真分析变形量的差异, 以及预变形设计本身对盖板结构刚度的影响等多方面因素, 成功解决了碳罐盖板的翘曲变形问题, 使其满足振动摩擦焊接要求。该预变形设计方法也可作为其它注塑部件翘曲变形优化的参考, 对减少注塑产品设计开发周期, 降低开发费用, 提升产品质量具有重要意义。

关键词: 碳罐盖板; 翘曲变形; 尺寸精度; 仿真分析; 预变形

中图分类号: TQ320.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)10-0069-06

Warpage Optimization of Automotive Canister Cover based on Pre-deformed Design

Huang Jiajia¹, Yang Liangbo², Zhang Yunqing¹, Ou Xianglin², Ye Nanbiao²

(1. Shanghai Kingfa Sci. & Tech. Dvpt. Co. Ltd., Shanghai 201714, China; 2. Kingfa Science and Technology Co. Ltd., Guangzhou 510520, China)

Abstract : Aiming at the phenomena that automotive canister cover is easy to suffer from severe warpage in the injection molding production, resulting in insufficient dimensional accuracy of the welding surface, and can't be formed into a package by vibration friction welding with the canister body, the problem was solved by adopting reasonable pre-deformation optimization design method. That is, through 3D scanning measurement of parts, CAE simulation analysis in Moldflow and Hypermesh, and considering many factors in the process of setting critical pre-deformation amount, such as the difference between the actual deformation of the cover and the forming simulation analysis deformation in Moldflow, as well as the influence of the pre-deformation design itself on the structural rigidity of the canister cover, the problem of warpage deformation of the canister cover was successfully solved to meet the requirements of vibration friction welding. This pre-deformation design method can also be used as a reference for the optimization of warpage deformation of other injection molded parts, which is of great significance for reducing the design and development cycle time, cost and improving product quality of injection molding products.

Keywords : canister cover ; warpage ; dimensional accuracy ; simulation analysis ; pre-deformation

汽车碳罐是汽车燃油蒸发控制系统重要组成部件之一, 对整个燃油蒸发系统起着关键作用。汽车碳罐形状各异, 主要由罐体、滤芯 (活性炭)、隔板、弹簧、盖板 (端盖) 等组成, 如图 1 所示。其中, 盖板是碳罐总成最后封装组件, 一般通过振动摩擦焊接与罐体进行连接, 焊接连接的可靠有效性将直接影响碳罐总成的焊接密封性以及连接强度。而影响碳罐盖板与罐体焊接连接可靠有效性的因素主要包括盖板与罐体的材料选择、焊接装备及工艺、零件

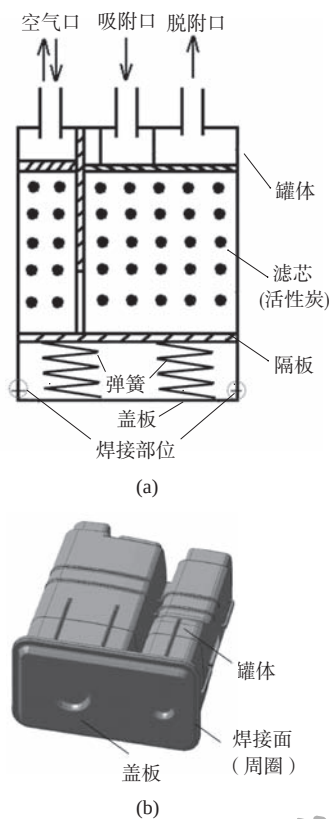
焊接面尺寸精度等。通过对以上几方面影响因素综合研究发现, 零件焊接面尺寸精度保证是目前汽车碳罐制造厂家面临的痛点问题之一。就碳罐罐体与盖板而言, 罐体通常采用类似筒体结构设计, 结构刚性好, 端部焊接面尺寸精度易于保证, 而碳罐盖板常采用类似平板结构设计, 注塑成型后焊接部位易发生较大程度翘曲变形, 因此导致碳罐盖板与罐体无法焊接或焊接后零件内部易残留较大内应力, 应力较大的焊接部位则在碳罐内部受压时极易发生开裂

通讯作者: 黄佳佳, 工程师, 主要从事汽车产品设计与开发 E-mail: hjj690475963@126.com

收稿日期: 2019-07-11

引用格式: 黄佳佳, 杨良波, 张云青, 等. 基于预变形的汽车碳罐盖板翘曲变形优化 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(10):69-74.

Huang Jiajia, Yang Liangbo, Zhang Yunqing, et al. Warpage optimization of automotive canister cover based on pre-deformed design[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(10):69-74.



a—结构示意图;b—设计示意图
图1 汽车碳罐示意图

失效,从而直接影响整个汽车碳罐的使用功能。因此,减小汽车碳罐盖板翘曲变形成为各碳罐供应商或制造厂家研究的重点问题之一。

1 研究对象及问题

研究对象为图2所示客户提供的汽车碳罐盖板,使用中发生了严重翘曲变形。该实物零件基于碳罐盖板理论3D模型开模生产。



图2 碳罐盖板实物零件

1.1 零件质量、尺寸及结构信息

碳罐盖板实物零件质量约83 g,外形尺寸217.5 mm×151.6 mm×8.3 mm,盖板类似平板结构设计,背部设计有低矮加强筋,整体结构呈“异形”,且不均匀对称,主体壁厚设计为2.0 mm。

1.2 材料选用

碳罐盖板选用的是目前行业内使用率较高、综合性能优良的PA66-G30工程塑料,采用30%玻璃纤维填充,具有强度高、渗透率低、耐热老化性能优良等特点。碳罐盖板材料由金发提供,牌号为

PA66-G30 AHBK003,材料重要属性参数见表1。

表1 碳罐盖板材料属性参数

项目	数值
模具温度范围(推荐温度)/℃	50~100(75)
熔体温度范围(推荐温度)/℃	260~330(295)
最大剪切应力/MPa	0.5
最大剪切率/s ⁻¹	60 000
弹性模量/MPa	8 581.3(平行流动方向) 5 151.2(垂直流动方向)

1.3 模具设计

该型碳罐盖板模具采用“一模两腔”设计,单个产品采用2点进胶方式,11点顶出,顶杆布置位置相对于产品分布均匀,且上下模内均有冷却流道设计。

1.4 注塑工艺

碳罐盖板注塑周期约40 s,熔体温度300℃,模具温度80℃,保压时间6 s,最大注塑压力9.9 MPa,保压压力为最大充填压力的65%。

1.5 尺寸问题

将碳罐盖板实物零件扫描点云与盖板理论3D模型拟合对比如图3所示,易发现碳罐盖板实物零件整体发生了严重的上翘变形,周圈焊接面最大尺寸变形量为7.67 mm,严重超出了碳罐盖板振动摩擦焊接对焊接面尺寸精度的要求,因而该碳罐盖板翘曲变形成为其设计亟待解决的问题。

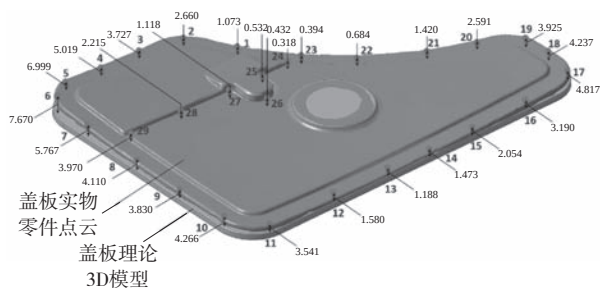


图3 碳罐盖板实物零件点云与理论3D模型对比

2 翘曲变形原因分析及解决思路

对于注塑零件,产生翘曲变形的原因一般主要包含以下几方面:①材料选用,不同的材料其物性参数不同,如流动性、刚性等;②模具设计,如浇口数量及布置位置、冷却流道、顶出机构等;③注塑工艺,如注塑温度、压力、速度、周期等;④零件结构,如结构规则性或对称性、筋位设计、壁厚均匀性等。以上各项因素的差异均会影响产品收缩,进而影响其翘曲变形^[1-4]。

传统控制注塑零件变形的的方法主要针对前3种因素进行改善,由于零件的结构受限于客户要求等

原因,较少有针对零件结构设计的改进来控制变形的研究和实践^[5-7]。而对于碳罐盖板这种类似平板的注塑零件,由于其长度、宽度方向的尺寸远大于厚度方向尺寸,实践表明要想通过工艺参数或模具结构优化来控制翘曲变形是十分有限的^[8],且材料选用主要由零件使用功能或成本等因素决定,故针对碳罐盖板的翘曲变形优化,笔者主要从零件结构设计角度,基于结构预变形优化设计,从而达到改善最终产品翘曲变形的目的,使其焊接面尺寸精度满足振动摩擦焊接装配要求。

3 结构预变形优化设计

所谓预变形设计,即在零件初始设计基础上预设反方向的变形^[9],以达到抵消或降低出模后制品变形的目的,使制品恢复到初始设计状态。因此,产品预变形设计,其关键在于如何准确确定产品预变形方向及预变形量^[8]。而笔者对碳罐盖板预变形设计以实物零件变形量为参考,重点依托 CAE 仿真分析,并考虑理论 CAE 仿真的精度,以及预变形对零件结构本身刚度的影响等多方面因素,来确定碳罐盖板的预变形方向及预变形量。

3.1 碳罐盖板实物零件变形量获取

选取客户基于碳罐盖板理论 3D 模型开模并在稳定注塑工艺条件下生产的实物零件,考虑尼龙材料吸湿性及成型内应力对产品变形的影响,首先将实物零件在常温环境静置一段时间,使产品达到稳定状态。

运用高精度手持式扫描设备对稳定状态的碳罐盖板实物零件进行外形扫描,得到碳罐盖板实物零件点云。在同一坐标系下,将碳罐盖板实物零件点云与盖板理论 3D 模型进行重叠拟合,拟合过程中可以选取产品合适的特征部位作为拟合基准,对应的基准部位拟合偏差建议控制在尽量小的范围内。图 4 为碳罐盖板实物零件点云与盖板理论 3D 模型拟合基准部位测量偏差,最大偏差量为 0.076 mm。

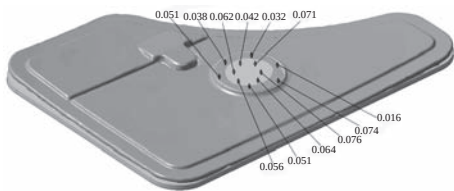


图 4 碳罐盖板实物零件点云与理论 3D 模型拟合基准偏差

当实物点云与盖板理论 3D 模型重叠拟合达到

理想状态后,选取碳罐盖板尺寸精度重要控制部位焊接面上均匀分布的 29 个位置作为测量点,测量碳罐盖板实物零件对应各点尺寸变形量,结果如图 3 所示,最大尺寸变形量为 7.67 mm。

3.2 碳罐盖板理论仿真分析变形结果精度

按照碳罐盖板实际生产工艺及模具设计,在 Moldflow 中对盖板变形量进行仿真分析,可得到碳罐盖板仿真分析变形结果模型,测量变形模型焊接面上对应的 29 个测量位置的变形量。

CAE 仿真技术在预变形设计方面可起到重要指导作用,但同时考虑到当前 CAE 分析与实际生产还有一定误差问题^[10-11]。将基于碳罐盖板理论 3D 模型仿真分析变形量 (D_2) 与碳罐盖板实物零件变形量 (D_1) 对比,如图 5 所示,其中变形量偏差 $\Delta D = D_1 - D_2$ 。由图 5 可知,基于 Moldflow 仿真分析所得到的盖板理论 3D 模型变形趋势与实物零件变形趋势一致,但二者在对应位置变形量还存在一定的偏差,其中测量位置 4、5、6、21、22、23 变形偏差在 2 mm 左右,其余各测量位置变形偏差均在 1.2 mm 以内,且理论仿真盖板最大变形量小于实际产品最大变形量。总体来看,理论仿真分析变形结果无法完全与实际变形结果相吻合,但二者变形趋一致,且仅在少部分位置变形结果偏差较大。从理论分析的角度而言,运用 Moldflow 对碳罐盖板进行成型仿真分析所得到的变形结果具有有效参考性,其分析变形结果可以作为指导碳罐盖板进行预变形优化设计的参考依据。

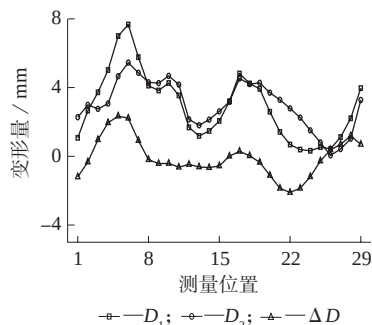


图 5 碳罐盖板理论 3D 模型仿真变形量与实物零件变形量对比

3.3 预变形对碳罐盖板结构本身刚度影响

零件预变形设计是一种通过预先改变零件结构形状而达到减小最终成型产品变形的的设计方法,但在设计过程常常易忽略预变形本身对产品本身结构刚度的影响。产品结构刚度反应了产品本身抵抗变形的能力,故产品本身结构刚度也会直接影响产

品注塑成型的变形量。

理论上而言,如果不考虑预变形本身对零件结构刚度的影响且实物零件变形量获取准确的情况下,按照碳罐盖板实物零件变形量进行预变形后的零件出模后即能回弹至初始形状^[8]。

为了探究预变形设计对碳罐盖板结构刚度的影响,在盖板理论 3D 模型的基础上,参考碳罐盖板实物零件实际变形量,按照预变形量与实际变形量为 1 : 1 的关系,对盖板结构进行预变形设计,得到如图 6 所示碳罐盖板理论预变形设计模型。

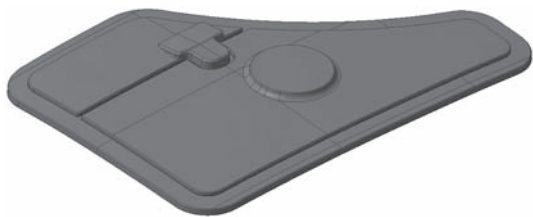


图 6 碳罐盖板理论预变形模型

比较预变形前后碳罐盖板结构刚度变化,在 Hypermesh 中分别对碳罐盖板理论 3D 模型及图 6 碳罐盖板理论预变形模型建立网格模型,并建立相同的约束加载工况,如图 7 所示,固定约束碳罐盖板周边位置 1、位置 2、位置 3,并在碳罐盖板中间点位置 Z 向施加 100 N 加载力。

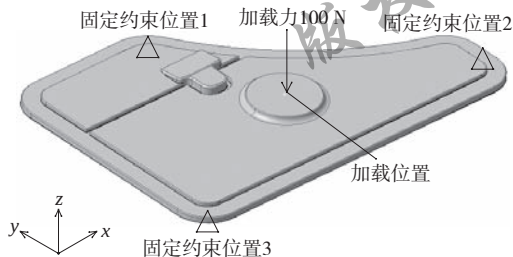


图 7 碳罐盖板结构刚度分析约束加载示意

CAE 仿真分析计算结果分别如图 8、图 9 所示,在约束加载条件下,碳罐盖板理论 3D 模型加载点位移变形量为 2.74 mm,则刚度为 36.5 N/mm。而理论预变形模型加载点位移变形量为 1.73 mm,刚度为 57.8 N/mm。通过分析结果对比可知,碳罐盖板模型在进行相应预变形后,相比理论 3D 模型在设定的分析工况下加载点结构刚度提升了约 58%。故从理论分析角度,对于该型碳罐盖板,预变形设计对其本身结构刚度有着较大的影响。

3.4 碳罐盖板实际预变形量及预变形设计模型

实践表明,零件实际有效预变形量的确定往往需要参考多方面影响因素,对于碳罐盖板零件亦是

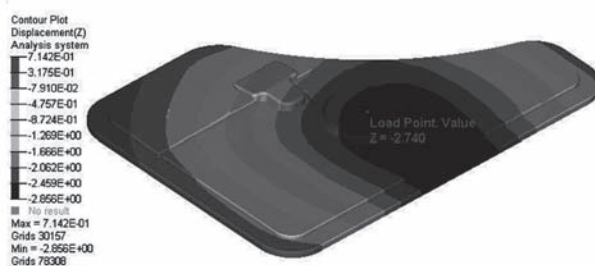


图 8 碳罐盖板理论 3D 模型结构刚度分析结果

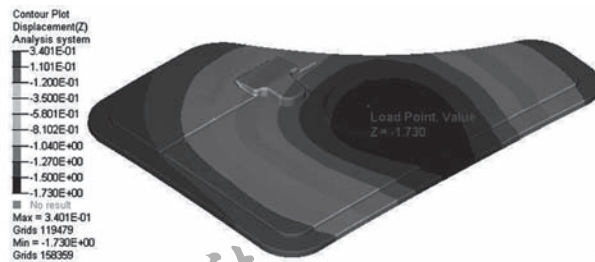


图 9 碳罐盖板理论预变形模型结构刚度分析结果

如此。参考碳罐盖板实物零件变形量,将碳罐盖板实际预变形量 D 与实物零件变形量 D_1 的比值设定为 C ,则 $D=C \times D_1$ 。其中, C 值的大小难以用定值或量化的公式模型进行表达,针对所介绍的该型碳罐盖板预变形设计,其不同部位 C 值大小的设定主要参考以下几方面因素:①零件主要变形趋势;②零件具体部位的变形量;③考虑零件预变形结构整体平滑过渡设计;④理论仿真变形结果,以及理论仿真分析变形结果精度;⑤预变形对零件结构本身刚度影响;⑥零件自身结构特点;且④、⑤为碳罐盖板预变形设计过程中容易忽视但影响很大的因素^[12-13]。

在碳罐盖板预变形模型设计过程中,将盖板变形较小的基准部位作为设计中心,并将盖板划分为不同区域,对不同区域的变形量进行控制设计,但不同区域间需注意平滑过渡设计,从而实现碳罐盖板整体预变形设计。此外,预变形设计模型在不同方向上其弧长应与理论模型保持一致,即保证按照预变形模型开模后成型的零件尺寸与理论设计尺寸一致。

综合以上,得到如图 10 所示碳罐盖板预变形模型,且碳罐盖板在对应各测量位置的实际预变形量如图 11 所示。

3.5 碳罐盖板实际预变形模型仿真分析

对所完成的碳罐盖板实际预变形模型,按照碳罐盖板实际生产工艺及模具设计,在 Moldflow 中对

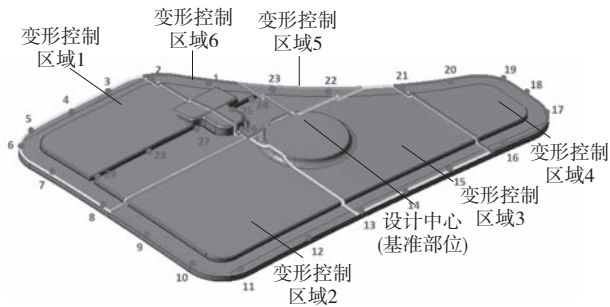


图10 碳罐盖板实际预变形模型

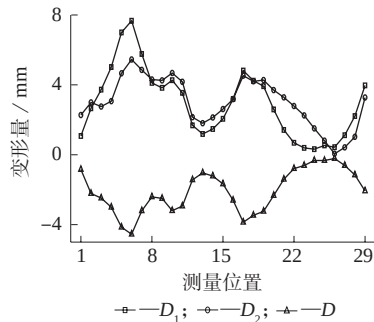


图11 实际预变形量与实物零件及理论3D模型仿真变形量对比

其成型变形量进行仿真分析,并将最终变形分析结果模型导出与盖板理论3D模型进行拟合对比,结果如图12所示,其中 D_3 为预变形模型仿真变形量。分析过程中尽量保持产品分析模型的坐标位置与其理论3D模型坐标位置一致,便于导出的变形分析结果模型与理论3D模型在相同的对应坐标关系下进行变形对比及测量^[14-15]。

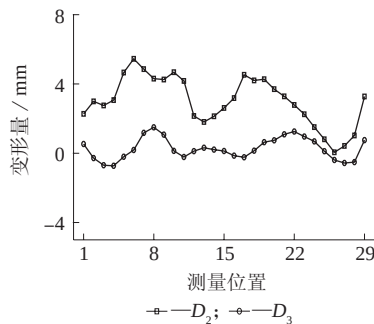


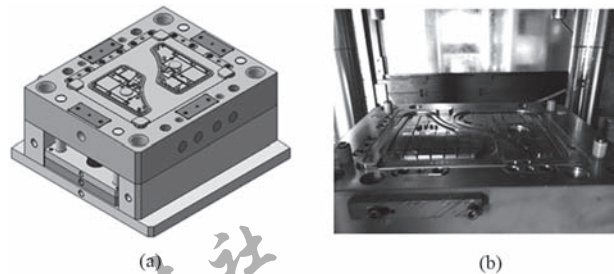
图12 实际预变形模型仿真变形量与理论3D模型仿真变形量对比

由图12可知,碳罐盖板实际预变形模型仿真变形结果除测量点7,8,9,21,22外,其余各点变形量均控制在 ± 1 mm以内,且测量点最大变形量仅为1.495 mm,即个别测量点变形量超差,且尺寸超差程度较小。在相同仿真条件下,碳罐盖板实际预变形模型仿真分析变形结果相比基于碳罐盖板理论3D模型仿真所得到的变形结果整体变形明显减小。结合前面对理论仿真变形结果精度验证情况,认为

当前碳罐盖板实际预变形优化设计方案符合要求,可以指导碳罐盖板重新开模设计,以解决其翘曲变形问题。

4 碳罐盖板预变形开模及尺寸验证

考虑碳罐盖板实际尺寸及成型效率,新一轮碳罐盖板预变形模具设计与初期模具设计方案相同,采用一模两腔设计,且上下模均布置有冷却流道,单个产品采用2点进浇方式。设计完成的三维模具如图13a所示,加工完成的模具如图13b所示。



a—模具设计图; b—模具实物图

图13 实际预变形碳罐盖板模具图

根据加工完成的预变形模具进行注塑生产,选取正常稳定注塑工艺条件下的碳罐盖板实物零件,并将碳罐盖板实物零件在常温环境静置一段时间,使产品达到稳定状态。采用与3.1中所述相同的零件外表面点云获取方法,获得碳罐盖板实物零件外表面点云,然后将零件点云模型与盖板理论3D模型进行重叠拟合至最佳状态,并测量获取碳罐盖板实物零件实际变形量,预变形前后的碳罐盖板实物零件焊接面尺寸变形量(D_1 , D_4)汇总如图14所示。对比可知,基于实际预变形碳罐盖板模具生产的实物零件翘曲变形改善明显,最大变形量为0.817 mm,且碳罐盖板焊接面所有测量点变形量均控制在 ± 1 mm以内,完全满足碳罐盖板与罐体振动摩擦焊接对焊接面尺寸精度的工艺要求,即通过

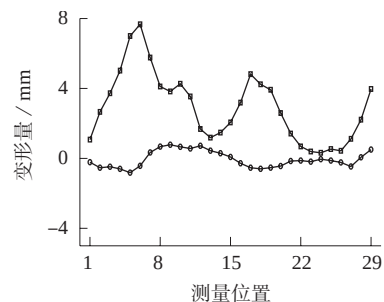
— D_1 —预变形前变形量 D_1 ; — D_4 —预变形后变形量 D_4

图14 碳罐盖板实物零件(预变形前后)变形量对比

对碳罐盖板的预变形优化设计成功解决了其翘曲变形严重的问题。

5 结论

(1) 对于汽车碳罐盖板零件,由于其长度及宽度方向尺寸远大于厚度方向尺寸,在注塑成型生产中易产生严重的翘曲变形问题,实践表明通过采用预变形优化设计的方法可以成功解决其变形问题,使之满足振动摩擦焊接对焊接面尺寸精度的要求。

(2) 在碳罐盖板实际预变形量设定过程中,综合考虑了设计过程中常易忽略的模流仿真结果精度以及产品预变形设计对其自身结构刚度的影响,可以保证获得更加准确可靠的预变形模型,提高通过预变形优化设计方法解决产品翘曲变形的成功率。

(3) 该预变形设计方法可作为其它注塑部件翘曲变形优化的参考,对减少注塑产品设计开发周期,降低开发费用,提升产品质量具有重要意义。

参考文献

- [1] 任清海,翁楠,耿铁. 注塑制品翘曲变形的影响因素及对策[J]. 塑料制造,2015(5):69-72.
Ren Qinghai, Weng Nan, Geng Tie. Factors affecting the warpage of injection molded parts and countermeasures[J]. Plastics Manufacture, 2015(5):69-72.
- [2] 陆玲梅,黄瑶,石凤健. 基于预变形的汽车扰流板内板翘曲变形研究[J]. 现代塑料加工应用,2018(3):54-56.
Lu Lingmei, Huang Yao, Shi Fengjian. Study of warpage for spoiler inner panel based on pre-deformation design[J]. China Application of Modern Plastics Processing, 2018(3):54-56.
- [3] 左大平. 汽车风扇注塑成型及变形预补偿的研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2006.
Zuo Daping. Research on injection molding simulation and warpage compensation of automotive fan[J]. Nanjing:Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2006.
- [4] 曾亚森,谢小鹏. 注塑制品翘曲变形的最显著影响因素[J]. 中国塑料,2009,23(6):69-73.
Zeng Yasen, Xie Xiaopeng. Most effective factoris affecting warpage of injection molded parts[J]. China Plastics, 2009, 23(6):69-73.
- [5] 张斌,杨鸿,王坤. 细长塑件翘曲分析及变形控制[J]. 模具技术,2014(1):50-52.
Zhang Bin, Yang Hong, Wang Kun. Warpage analysis and deformation control of thin and long plastics[J]. Die and Mould Technology, 2014(1):50-52.
- [6] 黄明,石宪章,刘春太,等. 基于统一网格的塑件成型与模具结构一体化分析[J]. 化工学报,2012,63(8):2 617-2 622.
Huang Ming, Shi Xianzhang, Liu Chuntai, et al. Integrated analysis of part molding and mold structural mechanics based on identical mesh[J]. CIESC Journal, 2012, 63(8):2 617-2 622.
- [7] 申长雨. 注射成型模拟及模具优化设计理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2009:1-10.
Shen Changyu. Injection molding simulation and mold optimization design:Theory and methods[M]. Beijing:Science Press, 2009:1-10.
- [8] 王超房,黄明,赵振峰,等. 基于预变形的长条状注塑制品翘曲控制[J]. 工程塑料应用,2016,44(8):46-49.
Wang Chaofang, Huang Ming, Zhao Zhenfeng, et al. Warpage control of injection-molded strip-like plastic parts based on pre-deformed design[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(8):46-49.
- [9] 孙海涛,熊鹰,黄政. 复合材料螺旋桨纤维铺层的影响及预变形设计[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2014,42(5):116-121.
Sun Haitao, Xiong Ying, Huang Zheng. Effect of stacking mode of composite laminates and pre-deformed design of composite marine propeller[J]. Journal Huazhong University of Science & Technology:Natural Science Edition, 2014, 42(5):116-121.
- [10] 黄明,刘春太,苗军伟,等. 注射成型与模具结构一体化分析统一网格生成技术[J]. 工程塑料应用,2010,38(12):69-72.
Huang Ming, Liu Chuntai, Miao Junwei, et al. Generation technology of uniform mesh in integration analysis of injection molding and mold structure[J]. Engineering Plastics Application, 2010, 38(12):69-72.
- [11] 王超房,黄明,石宪章,等. 注塑成型 Hele-Shaw 流动模拟中热对流的异步长求解[J]. 化工学报,2016,67(7):3 047-3 054.
Wang Chaofang, Huang Ming, Shi Xianzhang, et al. Thermal convection calculation with variable time step in Hele-Shaw flow simulation of injection molding[J]. CIESC Journal, 2016, 67(7):3 047-3 054.
- [12] 杨海平,鲁晓峰,张祺,等. 塑件预变形设计方法与应用[J]. 模具工业,2016,42(5):46-53.
Yang Haiping, Lu Xiaofeng, Zhang Qi, et al. Design method of plastic part predeformation and the application[J]. Die & Mould Industry, 2016, 42(5):46-53.
- [13] 黄凤立,刘国文,顾金梅,等. 基于稳健优化的注塑件变形预补偿方法研究[J]. 中国塑料,2014,24(10):71-75.
Huang Fengli, Liu Guowen, Gu Jinmei, et al. Study on deformable pre-compensation of injection molded plastics parts based on robust optimization[J]. China Plastics, 2014, 24(10):71-75.
- [14] 黄明瑜,关安南,王大中. Moldflow 在玻纤增强产品翘曲优化中的应用[J]. 塑料工业,2013,41(10):20-23.
Huang Mingyu, Guan Annan, Wang Dazhong. Application of Moldflow in the warpage of glass fiber reinforced plastic[J]. China Plastics Industry, 2013, 41(10):20-23.
- [15] 朱兴建,俞建新,徐以国,等. 基于 Moldflow 的汽车内饰件翘曲变形优化方法[J]. 塑料,2014,43(5):102-105.
Zhu Xingjian, Yu Jianxin, Xu Yiguo, et al. Optimization method of Automotive Interior warpage based on Moldflow[J]. Plastics, 2014, 43(5):102-105.