

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.07.014

基于Moldflow的带金属嵌件电机齿轮盖注塑工艺优化

刘云飞¹, 龙泉², 戴宇², 熊建武^{1,3,4}, 王得胜^{3,4}

[1. 湖南工业职业技术学院, 长沙 410006; 2. 博世汽车部件(长沙)有限公司, 长沙 410100;

3. 湘潭科技职业学院, 湖南湘潭 411100; 4. 邵阳通航职业技术学院, 湖南邵阳 422999]

摘要: 汽车雨刮电机齿轮盖采用注射成型技术, 内嵌齿轮盖中的3根金属嵌件起到导通电流的作用。在注射成型过程中要确保各金属嵌件有一定的间距, 以保证电机正常工作。为了验证设计的方案是否满足设计要求, 采用模流分析软件Moldflow对齿轮盖注射成型过程进行分析, 以准确掌握金属嵌件的变形情况。初始方案仿真计算结果显示, 注射成型后用于接地的嵌件31在XY平面内变形量过大, 可能存在搭接短路风险, 不满足设计要求。针对嵌件31变形量过大的问题, 分析可能的原因, 从注射成型工艺参数和嵌件定位方案两方面进行优化。在满足设计要求前提下, 通过正交试验法获得最优的模具温度和熔体温度, 仿真结果表明: 将注射成型工艺参数中的模具温度调整为80℃, 熔体温度调整为265℃, 嵌件31的变形量减少27.3%; 将嵌件31的定位方式更换成穿孔式定位, 可有效增加嵌件的定位可靠性。两种优化方案共同实施后, 嵌件31的最大变形量从0.55 mm降低到0.05 mm, 变形量减小90.9%, 满足设计指标要求, 提升了设计产品的可靠性。

关键词: 电机齿轮盖; 嵌件; 模流分析; 变形量; 工艺参数

中图分类号: TH164 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)07-0094-07

Optimization of injection molding process for motor gear cover with metal inlay based on Moldflow

LIU Yunfei¹, LONG Quan², DAI Yu², XIONG Jianwu^{1,3,4}, WANG Desheng^{3,4}

[1. Hunan Industry Polytechnic, Changsha 410006, China; 2. Bosch Automotive Parts (Changsha) Co., Ltd., Changsha 410100, China;

3. Xiangtan Vocational College of Science and Technology, Xiangtan 411100, China;

4. Shaoyang General Aviation Vocational College, Shaoyang 422999, China]

Abstract : The motor gear cover of automobile wiper system is generally made by injection molding, and 3 pieces of metal inlays in it play a role in conducting current. During the injection molding process, it is necessary to ensure that there is a certain distance between the metal inlays to ensure the normal operation of the motor. In order to verify whether the design scheme meets the design requirements, the mold flow analysis software Moldflow was used to analyze the injection molding process of the gear cover, accurately grasping the deformation situation of the metal inlay. The simulation calculation result of initial scheme shows that the deformation of inlay 31 for grounding is too large and cannot meet design requirement, which leads to the risk of short circuit from overlapping between two inlays. Aiming at the problem of excessive deformation of inlay 31, the possible reasons were analyzed, and the injection molding process parameters and insert positioning scheme were optimized. Under the premise of meeting the design requirements, the optimal mold temperature and melt temperature were obtained by orthogonal test. The results show that the deformation of inlay 31 is reduced by 27.3% when the mold temperature is 80℃ and melt temperature is 265℃. Through-hole positioning method is changed in positioning of inlay 31, which increase the positioning reliability of inlay 31. After the implementation of two optimization scheme, the maximum deformation is reduced from 0.55 mm to 0.05 mm, which is reduced by 90.9% and can meet design index requirement.

Keywords : motor gear cover ; inlay ; mold flow analysis ; deformation ; process parameter

现代汽车制造工业中, 车辆外部装饰件、内部装饰件及部分有代表性的功能件和结构件, 都有塑

料制品。含有金属嵌件的塑料制品在汽车上的应用越来越广泛, 这类零件将塑料与金属的优点有效

通信作者: 龙泉, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为汽车零部件设计及应用

收稿日期: 2024-04-22

引用格式: 刘云飞, 龙泉, 戴宇, 等. 基于Moldflow的带金属嵌件电机齿轮盖注塑工艺优化[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(7): 94-100.

LIU Yunfei, LONG Quan, DAI Yu, et al. Optimization of injection molding process for motor gear cover with metal inlay based on Moldflow [J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(7): 94-100.

结合,既提高了零件的强度、刚度和耐磨性等物理特性,同时内嵌的金属也可以作为电路系统的导线,提升产品的集成度,减少组装步骤,缩短产品的生产制造周期^[1-4]。带嵌件的塑料制品采用嵌件注射成型工艺,将提前准备好的嵌件放入模具内与熔融的塑胶材料一起注塑固化成型。在注射成型过程中,嵌件的大变形可能会影响零件的使用,严重时会导致结构功能失效。只有保证嵌件在注塑过程中变形量减小,才能生产出高质量的产品^[5-6]。

付忠亮^[7]对塑料和金属复合件的注塑过程进行仿真和试验,研究了注射温度、压力、嵌件结构、熔体材料、嵌件材料和温度对复合件结合强度、翘曲量及嵌件位移量的影响规律,发现可以通过改变浇口位置、增加注射温度等来减小嵌件的变形量。姚建冲等^[8]研究了带金属嵌件的汽车插接件翘曲变形问题,发现热残余应力会引起产品翘曲,通过优化注塑工艺参数来减小产品总体的翘曲变形。贺灿辉等^[9]研究了带金属嵌件的手机外壳的注射成型翘曲问题,通过正交试验对注射成型工艺参数进行优化,找到最佳工艺参数组合,使产品的翘曲变形最小。王慧^[10]研究了带金属嵌件的手机充电线接口注射成型充填不饱模的问题,从注射设备参数和模具相关参数方面进行分析,通过调整注射机塑化容量和模具定位针的尺寸,在保证嵌件定位准确的同时改善了充填不饱模的问题,大大降低了产品的不良率。上述研究表明通过调整注塑工艺参数、嵌件定位针等方式可以改善翘曲量和嵌件的变形情况。

以某国产汽车后雨刮电机齿轮盖为研究对象(齿轮盖为带金属嵌件的塑料制品,其中金属嵌件作为雨刮电机电路系统的导线),利用Moldflow软件对原始方案进行模拟仿真,对金属嵌件的变形情况进行评估,以减小金属嵌件变形量为目标,从注射成型工艺参数和嵌件的定位两方面对方案进行优化,并利用仿真模拟和批量试模进行验证。

1 模型概述

1.1 齿轮盖结构

通过UG建立电机齿轮盖模型,其外形尺寸为175 mm×135 mm×80 mm。图1为电机齿轮盖的三维模型及尺寸设计。

电机齿轮盖在注塑时内嵌3根金属嵌件作为电路系统的导线,3根金属嵌件的位置分布和功能说明如图2所示,金属嵌件间要保留一定的间隙,防止

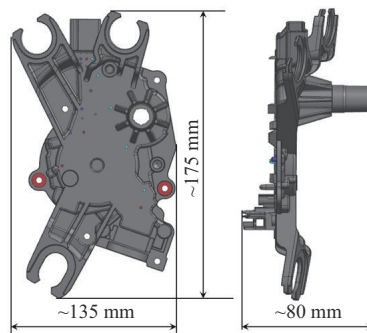
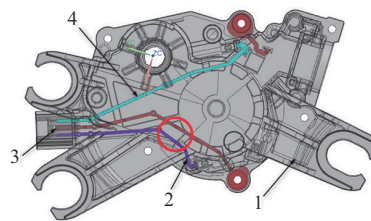


图1 电机齿轮盖的三维模型及尺寸设计

Fig. 1 Three dimensional model and size design of motor gear cover



1—Gear cover; 2—Purple inlay 53a (positive pole);
3—Red inlay 31 (grounding); 4—Cyan inlay 53 (switch)

图2 嵌件结构

Fig. 2 Structure of inlays

接触引起线路短路。由于齿轮盖的结构布局限制,嵌件53a和嵌件31间距较小,尤其是红色圆圈区域,仅预留了2.6 mm的间隙。

1.2 金属嵌件的定位方案

注塑时嵌件会随料的流动产生一定变形,所以在模具上设计了定位针以保证嵌件位置精度。金属嵌件的定位方式主要有两种:方式1是定位针穿过嵌件定位孔的方式定位;方式2是通过上下定位针夹住的方式来定位。两种定位方式如图3所示。

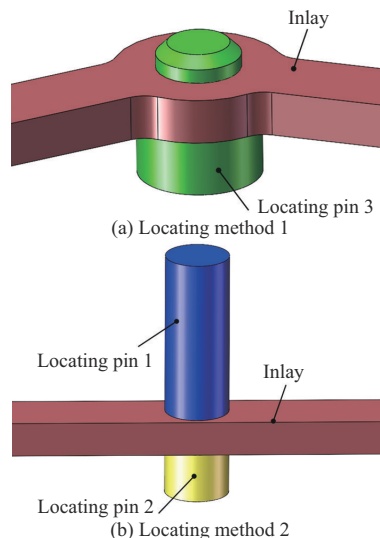


图3 嵌件的两种定位方式

Fig. 3 Two locating methods for inlay

目前3根嵌件的定位方案均采用了上述两种定位方式,同时每根嵌件的具体定位位置要综合考虑齿轮盖的结构布局,嵌件的定位方案如图4所示。

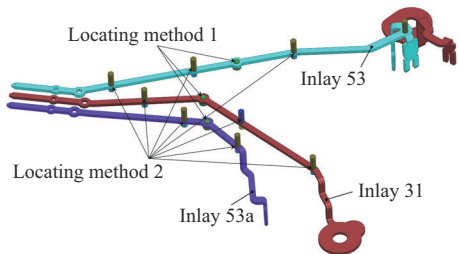


图4 嵌件的定位方案

Fig. 4 Locating method of inlay

1.3 金属嵌件的变形和整体翘曲的要求

电机齿轮盖的金属嵌件厚度为0.8 mm,宽度为1.5 mm,为长度不一的薄壁细长杆,设计时嵌件53a和嵌件31的最小间隙为2.6 mm,嵌件及模具定位针产生的总公差为1.8 mm,考虑到安全系数,要求单个嵌件的最大变形量小于0.5 mm。嵌件成品在模具上安装后的公差计算见表1。电机的齿轮盖整体安装有3个安装点,为开口式半圆孔,装配工艺的公差为±0.5 mm,要求安装孔的翘曲变形小于0.5 mm。

表1 两嵌件间隙的公差计算

Tab. 1 Tolerance calculation of clearance between two inlays		
Tolerance name	Tolerance value of single inlay/mm	Gap tolerance value of two inlays/mm
Inlays width tolerance	±0.3	±0.6
Geometric tolerances of inlays	±0.3	±0.6
Inlays locationing hole diameter tolerance and position tolerance	±0.2	±0.4
Mould locating pin diameter tolerance and position tolerance	±0.1	±0.2
Total tolerance	±0.9	±1.8

2 模拟仿真

2.1 仿真建模

本实验主要研究对象为电机齿轮盖及嵌件,镶嵌嵌件处齿轮盖壁厚为2.8~3.3 mm。考虑到齿轮盖上多处圆角及加强筋等小特征,结构复杂,壁厚不一,为保证计算精度,单个网格的平均长度为0.2 mm。其中,金属嵌件采用6层3D网格划分,网格总数量为75 558;齿轮盖本体采用10层3D网格划分,网格总数量为2 157 487。进料系统是直径3 mm的圆柱形,长度280 mm,采用beam单元。进料系统的浇口位置选择在整体模型的中央,这样可提供等长的流长,流长的大小会影响所需的射出压力,中央

进浇使得各个方向的保压压力均匀,可避免不均匀的体积收缩。齿轮盖整体网格划分如图5所示。

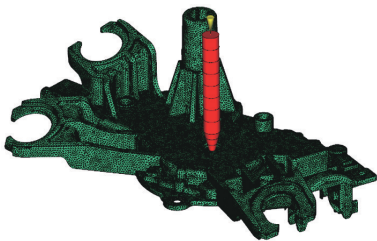


图5 齿轮盖网格划分

Fig. 5 Grid division of gear cover

2.2 注塑工艺参数

齿轮盖本体材料为质量分数42%聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)、质量分数28%聚对苯二甲酸乙二酯(PET)和质量分数30%玻璃纤维(GF),其熔体温度范围为250~270 ℃,模具温度范围为70~90 ℃。为保证齿轮盖远端3个安装点的位置度、整体尺寸的稳定性以及翘曲变形量,确定初始注塑工艺参数见表2。由于齿轮盖材料中含有GF,采用旋转扩散(MRD)模型,可改善3D形式下纤维取向的预测,得到更精确的计算结果。

表2 注塑工艺参数

Tab. 2 Process parameters of injection molding	
Parameter	Value
Melt temperature/℃	250
Mould temperature/℃	75
Injection time/s	1.2
Holding time/s	11
Holding pressure/MPa	45
Cooling time/s	33

2.3 约束设置

在Moldflow中采用型芯偏移的分析方法,将嵌件设置为可移动的分析对象。在图3中,对于嵌件31的定位针3,约束x,y,z三个方向的平移;定位针1和定位针2是通过上下定位针限制金属嵌件移动,但为确保正确合模,上定位针与金属嵌件实际存在0.05~0.08 mm间隙,因此仅约束z方向平移自由度。

2.4 仿真结果

根据模流分析的仿真结果,嵌件31发生了较大变形,x向最大变形值达到0.55 mm,并且变形趋势靠近嵌件53a的方向;嵌件53也发生较大的形变,最大变形量为0.31 mm;嵌件53a整体变形较小,控制在0.1 mm以内;嵌件的变形云图如图6所示。嵌件31的最大变形量超过设计要求的0.5 mm,若按此方案进行生产,成品存在嵌件搭接导致短路的风险。

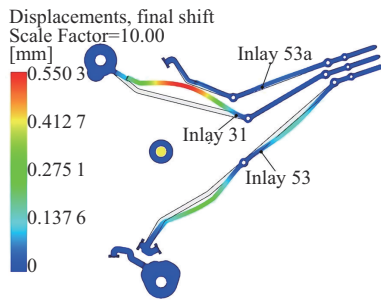


图6 金属嵌件的变形云图

Fig. 6 Deformation plot of metal inlay

嵌件31变形较大的原因分析:一方面,嵌件31距离浇口中心仅17 mm,在充模时,嵌件31处模腔压力近似于浇口处的注射压力,浇口处的熔体流产生的高压冲击导致嵌件产生大变形;另一方面,嵌件31的定位针1和2只限制嵌件的 z 向位移,并未限制嵌件沿平面 x, y 方向的位移,导致嵌件31的存在较长的直线段未被有效限位从而产生较大变形。综合以上因素,将从注塑工艺参数和定位方式两方面来降低嵌件的变形量。

3 工艺参数和嵌件定位方式优化

3.1 工艺参数优化

(1) 工艺参数分析。

付忠亮^[7]和姚建冲等^[8]在文献中都提及通过调整注塑工艺参数可以减小嵌件的变形。因为增加熔体温度和模具温度可降低熔体流动黏度,同时,根据公式(1)可知,降低黏度可降低注射压力,从而降低模腔压力,有利于减少嵌件变形^[11-12]。

$$P \propto \frac{(\eta \cdot L \cdot V)^n}{D^{3n+1}} \quad (1)$$

式中: P 为注射压力; η 为熔体黏度; L 为流动长度; V 为体积流量; D 为流道直径; n 为材料常数,根据聚合物熔体的种类不同取值范围为0.15~0.36。

通过分析可知调整熔体温度和模具温度可以改善嵌件变形情况,结合实际生产经验可知,模具温度和熔体温度都存在一个阈值。若模具温度过高,可能发生黏模现象,导致成型失败;若模具温度过低,易导致模具填充不足,影响零件成型质量^[13]。熔体温度越高,熔体流动性越好,零件成型效果较好,但熔体温度不能过高,因为一般的注塑材料在一定温度下发生热分解^[14]。此外,对于尺寸较大的注塑件,由于模具大、流道更长,注塑过程中温度损失相对更多,因此在选取熔体温度和模具温度时,建议选取中值或中值偏大;而对于尺寸较小的零件,则反之^[15-16]。考虑到产品后续生产效率和成本

等因素,主要对模具温度和熔体温度进行优化。

(2) 正交试验设计和结果。

根据工艺参数分析,选择模具温度(A)和熔体温度(B)作为正交试验因素,研究其对嵌件变形和安装接口翘曲变形的影响,正交试验因素水平见表3。

表3 $L_{25}(5^2)$ 正交试验因素水平设计
Tab. 3 $L_{25}(5^2)$ orthogonal test factor and level design

Level	Factor	
	$A/^{\circ}\text{C}$	$B/^{\circ}\text{C}$
1	70	250
2	75	255
3	80	260
4	85	265
5	90	270

正交试验结果见表4,从表4分析结果可知,嵌件31的变形和安装接口的翘曲量,2个因素的极差

表4 $L_{25}(5^2)$ 正交试验结果
Tab. 4 $L_{25}(5^2)$ orthogonal test results

Test number	Factor		Maximum deformation of inlay 31/mm	Factor		Maximum warping deformation at installation interface/mm
	A	B		A	B	
1	1	1	0.57	1	1	0.417 3
2	2	2	0.46	2	2	0.437 7
3	3	3	0.43	3	3	0.457 7
4	4	4	0.41	4	4	0.500 1
5	5	5	0.34	5	5	0.532 6
6	1	2	0.54	1	2	0.423 6
7	2	3	0.45	2	3	0.442 3
8	3	4	0.40	3	4	0.478 7
9	4	5	0.36	4	5	0.512 7
10	5	1	0.50	5	1	0.451 1
11	1	3	0.48	1	3	0.431 1
12	2	4	0.43	2	4	0.463 4
13	3	5	0.37	3	5	0.497 8
14	4	1	0.52	4	1	0.443 3
15	5	2	0.45	5	2	0.461 3
16	1	4	0.44	1	4	0.452 3
17	2	5	0.39	2	5	0.486 6
18	3	1	0.55	3	1	0.431 7
19	4	2	0.48	4	2	0.457 3
20	5	3	0.41	5	3	0.478 8
21	1	5	0.41	1	5	0.472 3
22	2	1	0.56	2	1	0.427 7
23	3	2	0.50	3	2	0.441 6
24	4	3	0.45	4	3	0.467 3
25	5	4	0.38	5	4	0.511 2
k_1	1.220	1.350		1.098 30	1.085 55	
k_2	1.145	1.215		1.128 85	1.110 75	
k_3	1.125	1.110		1.153 75	1.138 60	
k_4	1.110	1.030		1.190 35	1.202 85	
k_5	1.040	0.935		1.217 50	1.251 00	
R	0.180	0.415		0.0920 5	0.165 45	

排序都是 $R_B > R_A$, 影响程度排序为: 熔体温度 > 模具温度。随模具温度和熔体温度的升高, 嵌件的变形量在减小, 但安装接口的最大翘曲量在增大, 当模具温度和熔体温度取因素水平 5 时, 嵌件的变形量最小为 0.34 mm, 但安装接口的最大翘曲量为 0.532 6 mm, 超过了设计要求 0.5 mm。在保证安装接口的最大翘曲量不超标的情况下, 模具温度和熔体温度可以选高些, 从试验结果数据中发现, 当模具温度选择水平 3 (即 80 °C), 熔体温度选择水平 4 (即 265 °C) 时, 嵌件 31 的变形量为 0.4 mm, 此时安装接口的最大翘曲变形量为 0.478 7 mm, 未超过设计要求。

图 7 和图 8 分别为模具温度 80 °C, 熔体温度 265 °C 时, V/P 切换压力值以及充模结束时压力值的对比云图。优化熔体温度和模具温度后, 在 V/P 切换时, 嵌件附近的模腔压力从 17.86 MPa 降低为 11.72 MPa, 相比优化前降低了 34%; 在充模结束后, 模腔压力从 16.11 MPa 降低为 11.8 MPa, 相比优化前降低了 26.7%。

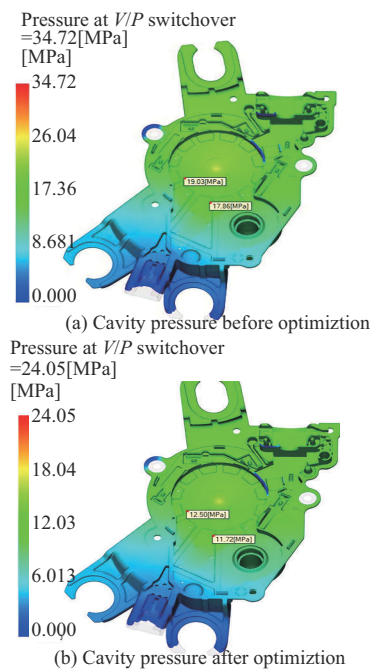


图 7 V/P 切换压力值

Fig. 7 Pressure at V/P switchover

图 9 为优化温度参数后金属嵌件的整体变形云图, 嵌件 31 的变形量最大, 为 0.4 mm, 相比优化前下降了 27.3%; 嵌件 53 的最大变形为 0.19 mm, 相比优化前下降了 38.7%; 嵌件 53a 的整体变形仍在 0.1 mm 以内。

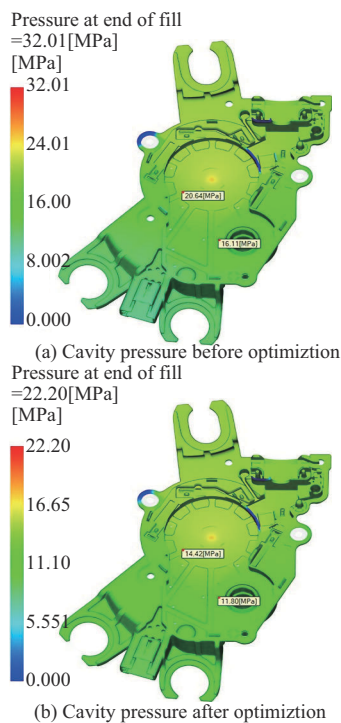


图 8 充模结束时压力值

Fig. 8 Pressure at end of fill

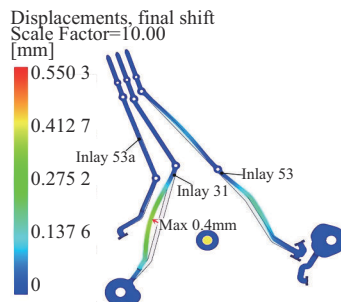


图 9 优化温度后金属嵌件的变形云图

Fig. 9 Deformation plot of metal inlay after temperature optimization

3.2 嵌件定位优化

嵌件 31 的定位方式优化如图 10 所示。通过优化注塑工艺参数, 嵌件 31 的最大变形量下降到了 0.4 mm, 但整体优化幅度不大; 嵌件 53 的最大变形量下降到 0.19 mm, 满足设计要求, 同时暂无嵌件搭

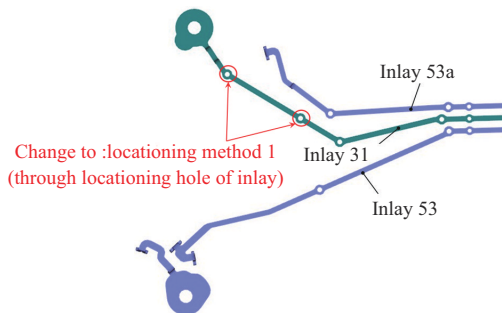


图 10 嵌件 31 的定位方式优化

Fig. 10 Positioning method optimization of inlay 31

建风险。考虑到虚拟仿真与实际情况存在一定误差,为进一步降低嵌件31搭接风险,对嵌件31的定位方式同步优化。具体优化方案为:将嵌件31尾部长跨度区域的两个定位点的定位方式更改为定位方式1,即改成穿过嵌件定位孔的固定方式。这种定位方式增加了嵌件的定位可靠性,定位更精确,理论上可进一步减小嵌件变形量。

3.3 嵌件工艺参数优化和定位优化后的仿真结果

注塑工艺采用模具温度 80 °C,熔体温度 265 °C 以及优化后的定位方式重新仿真,嵌件31变形云图如图 11 所示,变形量从最初 0.55 mm 降低为 0.05 mm,降低比例 90.9%,变形量改善明显,大大降低了嵌件31与嵌件53a搭接的风险。

优化后的注塑件整体变形云图如图 12 所示,最

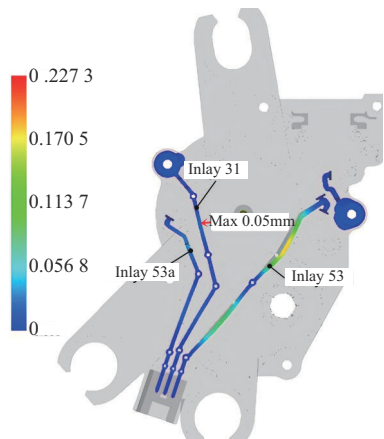


图 11 优化后嵌件的变形云图
Fig. 11 Deformation plot after optimization

表 5 检测的工程样件内部嵌件31尾部与嵌件53a的最小间距数据

Tab. 5 Minimum spacing data between tail of inlay 31 and inlay 53a in tested engineering sample

Sample	Minimum spacing data/mm		Sample	Minimum spacing/mm	
	Original design	Optimized design		Original design	Optimized design
1 [#]	1.44	2.34	16 [#]	1.56	2.35
2 [#]	1.68	2.31	17 [#]	1.68	2.41
3 [#]	1.47	2.44	18 [#]	1.63	2.44
4 [#]	1.48	2.34	19 [#]	1.54	2.46
5 [#]	1.36	2.37	20 [#]	1.49	2.38
6 [#]	1.62	2.43	21 [#]	1.66	2.36
7 [#]	1.68	2.41	22 [#]	1.55	2.41
8 [#]	1.73	2.44	23 [#]	1.65	2.33
9 [#]	1.66	2.36	24 [#]	1.66	2.48
10 [#]	1.65	2.37	25 [#]	1.63	2.46
11 [#]	1.66	2.34	26 [#]	1.55	2.37
12 [#]	1.44	2.44	27 [#]	1.55	2.34
13 [#]	1.66	2.37	28 [#]	1.58	2.36
14 [#]	1.66	2.41	29 [#]	1.52	2.39
15 [#]	1.65	2.36	30 [#]	1.66	2.39

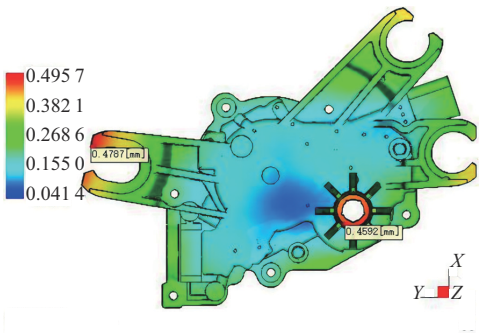


图 12 优化后注塑件整体的变形云图
Fig. 12 Deformation plot of the injection-molded part after optimization

大变形量为 0.47 mm,位置位于其中一个安装圆孔(带缺口)端部,装配工艺中的公差为±0.5 mm,变形满足设计要求。

3.4 优化方案的工程验证

为了进一步验证方案的可行性,对初始方案和优化后的方案进行小规模试制进行工程验证,样品采用一模四腔的方式生产,随机从各模腔中抽取 30 个样件进行测试。为验证齿轮盖内部嵌件变形情况,对原始方案的 30 个样件和优化后的 30 个样件利用 X 射线来检测,如图 13 所示。利用图形软件测量嵌件 31 尾部和嵌件 53a 的最小间距,检测数据见表 5。检测结果表明原始方案的样件嵌件 31 尾部和嵌件 53a 的最小间距均值在 1.59 mm 左右,其中最小间距为 1.36 mm;优化方案的样件嵌件 31 尾部和嵌件 53a 的最小间距均值在 2.38 mm 左右,其中最

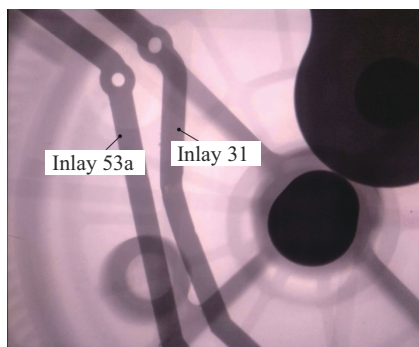


图13 利用X射线探测嵌件变形情况

Fig. 13 Detect the deformation of inlay detected by using X-ray

小间距为2.31 mm,优化后的间距稳定在2 mm以上,最小间距较原始整体提升了约50%,有效减低了搭接风险,所有产品均符合设计要求。

4 结论

基于Moldflow软件计算了金属嵌件在电机齿轮盖注塑过程中的变形,嵌件变形超过设计要求,通过分析金属嵌件产生大变形的原因,提出有效优化方案。

(1)注塑工艺参数优化:通过正交试验方法获得最优熔体温度(265 °C)和模具温度(80 °C),模腔 V/P 切换压力值降低了34%,嵌件变形量减小了27.3%。

(2)嵌件定位方案优化:将定位针1和2改成穿过圆孔的固定方式,增加定位可靠性。

(3)通过两种优化措施的组合实施,嵌件31的最大变形量从0.55 mm降低到0.05 mm,嵌件变形量减小90.9%,优化效果明显,保障了两嵌件间有足够的间隙裕度。对改进后的齿轮盖进行工程试制,抽检样品均符合要求,方案切实可靠,为带嵌件塑料制品的注塑生产提供了一定的参考。

参考文献

- [1] 冯顺利.长玻纤增强聚丙烯汽车前端框架注塑成型方案优化分析[J].塑料科技,2023,51(11):94-98.
FENG Shunli. Optimization analysis of injection molding scheme of long glass fiber reinforced polypropylene automobile front end frame[J]. Plastics Science and Technology, 2023, 51(11):94-98.
- [2] 刘成娟,刘成刚,刘艳,等.基于CAE与正交试验法的工艺参数对翘曲变形的影响分析[J].中国塑料,2018,32(1):102-107.
LIU Chengjuan, LIU Chenggang, LIU Yan, et al. Analysis of effect of injection-molding process parameters on warpage deformation of printer plastic parts based on CAE and orthogonal experiments [J]. China Plastics, 2018, 32(1):102-107.
- [3] 叶燕仙,高盼盼,刘戈. PP汽车遮阳帘导轨注塑成型的平整度优化分析[J].塑料科技,2021,49(12):82-85.
YE Yanxian, GAO Panpan, LIU Ge. The flatness optimization analysis on injection molding of PP automobile sunshade slide way

- [J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(12):82-85.
- [4] 张留伟,顾赛君,洪维,等.基于CAE技术的带嵌件汽车前框架大型注塑模设计[J].工程塑料应用,2023,51(2):91-98.
ZHANG Liuwei, GU Saijun, HONG Wei, et al. Design of large injection mould for automotive front frame with inserts based on CAE technology[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(2): 91-98.
- [5] 余国亮,张春岩.带金属嵌件注塑成型的汽车连接器密封技术研究[J].汽车工艺与材料,2022(5):32-37.
YU Guoliang, ZHANG Chunyan. Research on sealing technologies of automobile connector with metal insert injection molding[J]. Automobile Technology & Material, 2022(5):32-37.
- [6] 林权,陈丽军.金属嵌件对注射成型件翘曲变形的影响[J].塑料,2017,46(4):93-97.
LIN Quan, CHEN Lijun. Influence of metal insert to deformation of injection molded parts[J]. Plastics, 2017, 46(4):93-97.
- [7] 付忠亮.塑料—金属复合注射成型的关键技术研究[D].重庆:重庆大学,2010.
FU Zhongliang. Research on key technology of plastic-metal hybrid injection processing[D]. Chongqing : Chongqing University, 2010.
- [8] 姚建冲,廖秋慧,祝璐琨.带金属嵌件的汽车接插件翘曲变形与残余应力研究[J].智能计算机与应用,2020,10(2):297-300.
YAO Jianchong, LIAO Qiuhui, ZHU Lukun. Study on warpage deformation and residual stress of automotive connector with metal inserts[J]. Intelligent Computer and Applications, 2020, 10(2): 297-300.
- [9] 贺灿辉,刘斌,邹仕放.带金属嵌件的手机外壳注塑成型翘曲变形分析[J].工程塑料应用,2011,39(11):29-32.
HE Canhui, LIU Bin, ZOU Shifang. Warpage analysis of mobile phone shell injected plastic part with metal-inssert[J]. Engineering Plastics Application, 2011, 39(11):29-32.
- [10] 王慧.金属嵌件注射成型充填不饱模的工艺改善[J].建材技术与应用,2020(4):27-29.
WANG Hui. Process improvement of metal insert injection molding for filling unsaturated mold[J]. Research & Application of Building Materials, 2020(4):27-29.
- [11] 伍强,赵凯,张涛涛.金属嵌件对复合材料支架性能的影响[J].塑料,2023,52(4):102-106, 110.
WU Qiang, ZHAO Kai, ZHANG Taotao. Effects of metal inserts on the properties of composite scaffolds[J]. Plastics, 2023, 52(4): 102-106, 110.
- [12] JAY S. Moldflow设计指南[M].成都:四川大学出版社,2010.
JAY S. Moldflow design guide[M]. Chengdu: Sichuan University Press, 2010.
- [13] 吴凌云.基于Moldflow和BP神经网络的网络通信中继器注塑模具工艺优化[J].塑料科技,2021,49(4):86-89.
WU Lingyun. Process optimization of injection mold for network communication repeater based on moldflow and BP neural network[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(4):86-89.

(下转第130页)