

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.06.0012

基于 Moldflow 的 PUR 车轮注塑工艺参数优化

吴军,蔡建臣

(衢州学院机械工程学院 浙江衢州 324000)

摘要:以某聚氨酯(PUR)车轮为研究对象,设计了1模5腔的注塑系统,其布置方式采用平衡式布置。以注射温度、模具温度、注塑时间、保压压力、保压时间为影响因素,确定了5因素4水平的正交试验方案。结果表明,各因素对制件质量的影响能力为注射温度>注塑时间>模具温度>保压时间>保压压力,其中注射温度和注塑时间对塑料件的质量影响最大。根据正交试验分析的结果可知:最优的注塑工艺参数是注射温度175℃,模具温度40℃,注塑时间30.8 s,保压压力50 MPa,保压时间16 s。经过后期的加工及检测验证结果表明,优化后的塑料件翘曲变形量为0.2404 mm,完全满足并符合实际工艺需求。

关键词:正交试验;翘曲变形;工艺优化

中图分类号:TQ320.66 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2018)06-0056-04

Parameters Optimization of Injection Molding Process of PUR Wheel Based on Moldflow

Wu Jun, Cai Jianchen

(Department of Mechanical Engineering, Quzhou College, Quzhou 324000, China)

Abstract: A mold and five cavity injection molding system was designed by a polyurethane(PUR) wheel as the research object. It is arranged in a balanced manner. The orthogonal experiment scheme of five factors and four levels was established by the injection temperature, the mold temperature, the injection time, the holding pressure and the holding time as the influential factors. Test results show that: the factors that affect the quality of the workpiece quality injection temperature > injection time > mold temperature > holding time > holding pressure. The injection temperature and injection time have the greatest influence on the quality of the plastic parts. The results of orthogonal experimental is: the optimum injection molding process parameters is the injection temperature 175℃, mold temperature 40℃, injection time 30.8 s, packing pressure 50 MPa, compress time 16 s. Processing and testing verification results show that the optimal warpage deformation is 0.2404 mm, in line with the actual process needs.

Keywords: orthogonal experiment; warpage deformation; technical optimization

注塑是塑料产品成型制作的主要生产工艺之一,利用此工艺成型的塑料件占全部塑料制品总量的40%左右^[1-2]。目前,国内聚氨酯(PUR)轮的加工制作基本采用注塑工艺,但注塑时的料筒注射温度、模具温度、注塑时间、保压时间、保压压力等工艺参数直接关系到注塑件的质量,若工艺参数设置错误,则注塑件会出现水波纹、气穴、翘曲、收缩等缺陷。传统的注塑工艺参数选定大多采用经验试制法,依靠工艺技术人员对材料和模型的特性进行

估算和分析,从而确定塑料件最终的加工工艺参数。利用传统经验法确定工艺参数耗时大,浪费资金和原材料。因此,提出利用 Moldflow 模流分析软件以正交试验法进行多因素耦合分析,从而快速测得 PUR 车轮的注塑工艺参数。

笔者以路博润公司推出的 PUR 为原料,牌号为 Tecoflex EG-80A-B20。该材料综合力学性能良好,耐磨性能突出,成型温度约为 166~195℃。塑料件结构如图 1 所示,外径为 124 mm,中心沉孔直径为

基金项目:浙江省自然科学基金项目(LQ16E030008),衢州市科技局科研项目(2016Y010)

通讯作者:吴军,硕士,高级实验师,主要从事机械数字化设计及材料成型加工 E-mail: wujun4182@163.com

收稿日期:2018-03-11

引用格式:吴军,蔡建臣. 基于 Moldflow 的 PUR 车轮注塑工艺参数优化[J]. 工程塑料应用,2018,46(6):56-59.

Wu Jun, Cai Jianchen. Parameters optimization of injection molding process of PUR wheel based on moldflow[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(6):56-59.

19.7 mm。由于该塑料件中心沉孔位置需与外径为 20 mm 滚动轴承配合,为保证中心沉孔的变形量在 0.3 mm 内,特选取该位置的翘曲变形量作为本次工艺参数优化的评定依据,用以确定最佳工艺参数。同时,利用正交试验优化后的工艺参数进行实例加工,进一步验证优化方案的准确性^[3-4]。

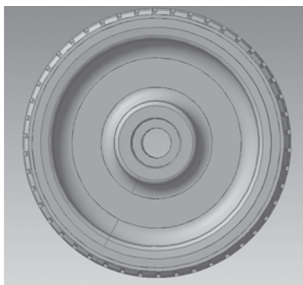


图1 PUR轮三维结构图

1 注塑工艺方案设计

根据注塑件结构和实际生产需求,设计了1模5腔的模具结构,其凹模和凸模分别如图2和图3所示。本模具结构的布置方式采用平衡式布置,5个成型工位呈正五边形均布,如图4所示。该模具每个工位都设计了等距的顶出机构,以保证落料时产品受力均匀,能及时有效脱落。



图2 PUR轮模具凹模



图3 PUR轮模具凸模

为保证熔融材料快速稳定进入模具型腔,防止湍流、熔接痕等不利因素产生,对其充型和冷却系统进行了如下设计:浇口截面形状为矩形,高度 3 mm、宽度 6 mm;分流道则由直径 15 mm 的圆柱构成;主流道底径为 15 mm,锥度为 2,高度为 140 mm。冷却水道直径为 14 mm,均匀分布在零件上、下 70 mm 处,冷却介质为纯水。本产品的注塑工艺方案如图 4 所示^[5-6]。

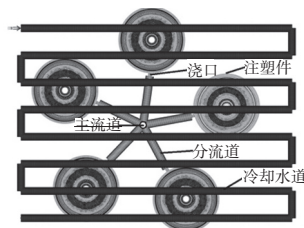


图4 PUR轮注塑工艺方案三维图

2 正交试验设计与仿真

2.1 明确影响因素及参数范围

注塑制造中,各影响因素的耦合作用使得产品成型过程变得较为复杂。其中注射温度、模具温度、注塑时间、保压时间、保压压力 5 项因素对塑料件成型质量影响最大。

注射温度是影响塑料件成型质量的关键因素之一。温度过低则会导致熔体流动性降低,黏度增大,保压压力传递困难,塑料件收缩量大并导致内应力增加,容易形成翘曲。温度过高则会因塑料件冷却温差过大而造成体积收缩并产生内应力,最终形成翘曲。因此,笔者选取注射温度为 175 ~ 190℃。

模具温度直接影响塑料件的冷却速率。模具温度低则冷却速率大,产品模内收缩小,但脱模后收缩和翘曲变形加大。模具温度过高则会引起总收缩变大(模内收缩和模外收缩),塑料件厚度越大,收缩越大。本次实验的模具温度选取值为 40 ~ 50℃。

注塑时间与注射速率有直接关系。注射速率高则所需加工时间短,但过快的注射速率对于壁厚件来说会发生喷射现象,而过慢的注射速率则会使凝固层厚度增加,进一步扩大充模阻力。选定注塑时间为 15.8 ~ 30.8 s。

保压压力可对充型完成的制件进行补缩,降低产品的收缩率,防止翘曲变形。由于产品在注塑过程中会随着温度降低而产生收缩变形,因此在充型完成后均要进行不同程度的补缩操作,故笔者依据加工模具的结构和填充材料的特性选取了合适的保压压力。本方案拟采用保压压力为 35 ~ 50 MPa。

保压时间的增加会使塑料件的收缩降低,防止产品因为收缩应力而产生翘曲变形。但是,随着保压时间增加到一定阶段后收缩将不再降低。壁厚件因为冷却时间较慢,其所允许的保压时间相对更长。由于本产品整体厚度达 25 mm,故选取其保压时间为 10 ~ 16 s^[5-6]。

主要针对上述 5 个影响因素进行分析研究,并

据此建立 5 因素 4 水平试验表,如表 1 所示。注射温度、模具温度、注射时间、保压压力、保压时间分别用 A, B, C, D, E 表示。

表 1 正交试验因素水平表

水平	因素				
	$A/^{\circ}\text{C}$	$B/^{\circ}\text{C}$	C/s	D/MPa	E/s
1	175	40	15.8	35	10
2	180	43	20.8	40	12
3	185	46	25.8	45	14
4	190	49	30.8	50	16

笔者基于 Moldflow 软件选取 PUR 轮中心沉孔位置进行翘曲变形量测定,以翘曲变形量作为试验评定依据,用 K 表示^[7-9]。

2.2 确定试验方案

根据表 1 可知,正交试验的影响因素为 5 个,各影响因素皆有 4 个试验水平,建立 $L_{16}(4^5)$ 正交试验表,其试验方案和评定值如表 2 所示^[10-12]。

表 2 试验方案表

实验编号	$A/^{\circ}\text{C}$	$B/^{\circ}\text{C}$	C/s	D/MPa	E/s	K/mm
1	175	40	15.8	35	10	0.254 1
2	175	43	20.8	40	12	0.252 3
3	175	46	25.8	45	14	0.249 9
4	175	49	30.8	50	16	0.246 4
5	180	40	20.8	45	16	0.255 9
6	180	43	15.8	50	14	0.261 8
7	180	46	30.8	35	10	0.257 0
8	180	49	25.8	40	12	0.259 6
9	185	40	25.8	50	16	0.259 4
10	185	43	30.8	45	14	0.258 1
11	185	46	15.8	40	12	0.271 7
12	185	49	20.8	35	10	0.270 2
13	190	40	30.8	40	12	0.265 8
14	190	43	25.8	35	10	0.273 1
15	190	46	20.8	50	16	0.273 4
16	190	49	15.8	45	14	0.279 5

2.3 试验结果分析

表 3 为正交试验结果分析表。表中 $A_i, B_i, C_i, D_i, E_i (i=1, 2, 3, 4)$ 的值为各参数不同水平下试验结果的均值。比较各影响因素 (A, B, C, D, E) 自身在不同水平中的均值,取该因素的最大均值与最小均值进行求差运算,求得的值即为该影响因素的极差。极差值反映了该因素对评定依据的影响能力,其值越大表示该因素的影响能力越强^[13]。

表 3 试验结果分析表

水平	A	B	C	D	E
1	0.250 6	0.258 8	0.266 7	0.263 6	0.263 6
2	0.258 5	0.261 3	0.262 9	0.262 3	0.262 4
3	0.264 8	0.263 0	0.260 5	0.260 8	0.262 3
4	0.272 9	0.263 9	0.256 8	0.260 2	0.258 7
极差	0.022 3	0.005 1	0.009 9	0.003 4	0.004 9
排序	1	3	2	5	4

根据表 3 实验结果可知,注射温度的极差值最大,注射时间次之,保压压力最小。因此可判定 5 个影响因素对注塑件质量的影响能力为 $A > C > B > E > D$ 。较优的注塑工艺参数方案为 $A1B1C4D4E4$,即选用注射温度 175 $^{\circ}\text{C}$ 、模具温度 40 $^{\circ}\text{C}$ 、注射时间 30.8 s、保压压力 50 MPa、保压时间 16 s。

3 优化方案验证

将传统工艺参数 (注射温度 190 $^{\circ}\text{C}$ 、模具温度 40 $^{\circ}\text{C}$ 、注射时间 20.8 m、保压压力 40 MPa、保压时间 12 s) 和正交试验优化后获得的工艺参数分别进行仿真分析,求得传统工艺参数的制件翘曲量为 0.2742 mm,如图 5 所示,优化后的制件翘曲量为 0.2404 mm,如图 6 所示。比较分析可知,正交试验优化后获得工艺参数确实获得了较为理想的变形量,符合产品的工艺需求^[14-16]。

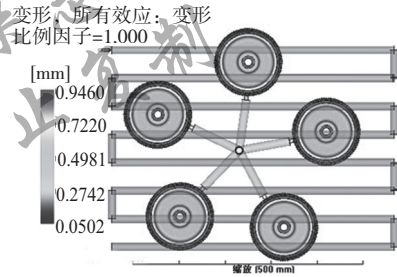


图 5 传统工艺参数的翘曲变形量

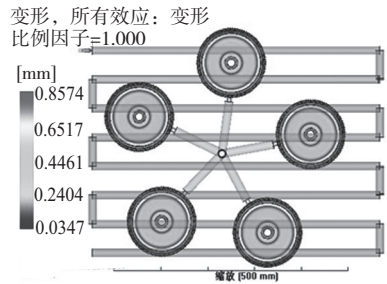


图 6 优化后工艺参数的翘曲变形量

为进一步验证优化参数的准确性,特采用将本参数进行实例加工,图 7 为优化后的塑料件样品。

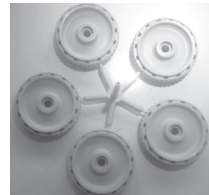


图 7 优化后的塑料件样品

产品整体充型完整,表面粗糙度好,无明显的熔接痕。用内径千分尺分别对 5 个成型制件的中心沉孔直径进行测定,测量结果为 19.91, 19.93, 19.90, 19.87, 19.95 mm,均值为 19.91 mm。通过测定可

知上述制件的变形量均小于 0.3 mm,制件中心沉孔尺寸皆满足后续安装工艺需求,正交试验优化方案有效可靠。

4 结论

(1) 根据零件的结构特点和实际生产需求,设计了一模五腔的注塑工艺方案。以注射温度(A)、模具温度(B)、注射时间(C)、保压压力(D)、保压时间(E)为影响因素构建了 4 水平 5 因素正交试验方案,明确了 $L_{16}(4^5)$ 正交试验表。利用正交实验结果确定了各因素对制件质量的影响能力为 $A > C > B > E > D$ 。较优的工艺参数为注射温度 175℃,模具温度 40℃,注射时间 30.8 s,保压压力 50 MPa,保压时间 16 s。

(2) 分别将优化后的工艺参数与传统工艺参数进行仿真分析,结果表明优化后的翘曲变形量为 0.2404 mm,小于传统工艺参数获得的变形值。同时将优化后的工艺参数进行实例加工,加工后测得的中心沉孔直径均值为 19.91 mm,符合后续安装工艺需求。

参考文献

- [1] 磨莉,谷林. 基于 Moldflow 的 PP 薄壁制品注塑工艺计算机模拟[J]. 工程塑料应用,2016,44(4):69-73.
- [2] 陈开源,程国飞. 基于 Moldflow 的手电筒注塑模组合型腔流动平衡优化设计[J]. 塑料,2017,46(1):68-71.
- [3] 沈中良,郑子军,肖国华,等. 汽车中控面板 IMD 成组模具设计[J]. 工程塑料应用,2017,45(1):70-75.
- [4] Butt M S, Bai J, Wan X, et al. Mechanical and degradation properties of biodegradable Mg strengthened poly-lactic acid composite through plastic injection molding[J]. Materials Science and Engineering:C,2017,70:141-147.
- [5] 王鑫,杜林芳. IMD 注射模具设计要点探讨[J]. 塑料,2015(3):95-97.
- [6] 成波,王昌龙,边义祥,等. 车涡轮增压器进气管三维吸入式吹塑模具设计[J]. 工程塑料应用,2014,42(7):68-70.
- [7] 黄征宏,邢渊. 汽车进气管改型的数值模拟及优化设计[J]. 模具技术,2007(3):1-6,17.
- [8] 刘玲,田龙,蒋修宏. 基于 Pro/E 的塑料水龙头弧形抽芯模具设计[J]. 塑料科技,2014,42(2):90-92.
- [9] 马浩军,胡广洪,阮雪榆. 利用 Moldflow 软件分析解决注塑件翘曲问题[J]. 模具技术,2002(5):57-60.
- [10] 汪希奎,梅益,邓江,等. 壁厚塑件翘曲优化方法研究及应用[J]. 现代塑料加工应用,2014,26(3):56-59.
- [11] 马晓东,娄淑梅,王安宁,等. 基于响应面法和保压曲线的注塑工艺参数优化分析[J]. 塑料科技,2017,45(7):81-86.
- [12] 茆茂,朱先琦. 基于正交试验法的镜框注塑工艺参数优化[J]. 南昌工程学院学报,2015,34(3):51-55.
- [13] 王忠利,琚爱云,赵磊. 某型电机上盖注射成型工艺参数优化[J]. 工程塑料应用,2015,43(12):65-68.
- [14] 欧相麟,王大中,关安南,等. 注塑件缩痕和缩孔的形成机理及其解决措施[J]. 塑料工业,2012,40(7):9-13.
- [15] 姜勇道,黄明忠. Moldflow 标准化应用的有效方法[J]. 模具制造,2009,35(6):12-15.
- [16] 邱林冬,瞿金平. 振动注射成型空调遥控器外壳的性能研究[J]. 新技术新工艺,2017(10):55-58.