

塑料齿轮注塑模设计及成型工艺分析与优化

蒋昌华

(上海第二工业大学 高等职业技术(国际)学院, 上海 201209)

摘要: 翘曲变形是影响塑料齿轮传动精度的最大因素。为获得最小变形量, 结合注塑成型数值模拟和正交试验设计、极差分析, 得到最优工艺参数方案, 满足塑件使用要求; 用三维软件完成了齿轮注塑模具的总装结构设计, 阐述了三板模自动脱模的模具工作过程。

关键词: 塑料齿轮; 成型工艺优化; 正交实验; 极差分析; 自动脱模

中图分类号: TQ320.66

文献标志码: A

Design of Injection Mould, Analysis and Optimization on Molding Process for Plastic Gear

JIANG Changhua

(College of International Vocational Education, Shanghai Polytechnic University, Shanghai 201209, China)

Abstract: Warpage deformation is the biggest factor affecting the transmission accuracy of plastic gears. In order to obtain the minimum deformation, combined with numerical simulation of injection moulding, orthogonal experimental design and range analysis, the optimum process parameters were obtained to meet the requirements of plastic parts. The assembly structure design of gear injection moulds was completed with three-dimensional software, and the working process of three-plate moulds automatic demoulding was described.

Keywords: plastic gear; forming process optimization; orthogonal experiment; range analysis; automatic demoulding

0 引言

相对金属齿轮, 塑料齿轮具有质量轻、工作噪声小、耐磨损、无须润滑、可以成型为较复杂的形状、大批量生产成本低等优点。但由于塑料本身具有收缩、吸水性, 相对金属强度也比较弱, 有传递精度低、寿命短等缺点^[1-3]。但随着模具设计和制造技术的发展, 塑料齿轮的精度不断提高, 使其在精密传动中的应用逐渐增加。

1 塑件分析

图1所示的齿轮用于线路板快速打孔机轴的传

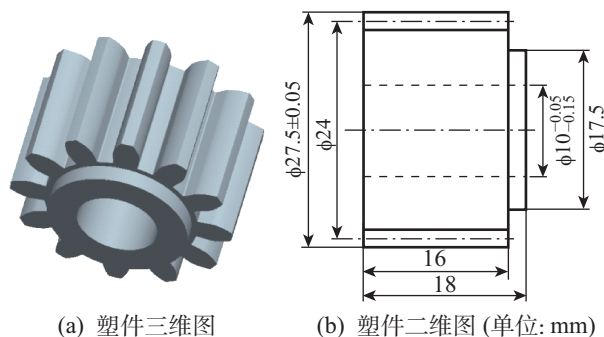


图1 齿轮
Fig. 1 Gear

递, 表面光滑, 不允许有明显的熔接痕和翘曲, 且要求具有一定硬度和耐磨性, 传动精度较高。齿轮的

收稿日期: 2018-12-21

通信作者: 蒋昌华(1979-), 女, 重庆梁平人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为模具设计与制造、虚拟仿真与优化设计。E-mail: chjiang@sspu.edu.cn

基金项目: 上海第二工业大学校基金项目(EGD17XQD08)资助

模数为 2, 齿数为 12, 齿型角为 20° , 齿顶高系数为 1。选用材料为聚甲醛 (POM), 综合力学性能好, 其力学性能随温度变化小、摩擦因数小、耐磨性好、自润滑性好。但成型温度的范围较窄、收缩率较大, 易出现翘曲变形, 对齿轮的传动精度影响较大, 在成型时要严格控制其翘曲变形量。

2 三维建模及网格化

(1) 建立模型: 用 PROE 软件建立塑件模型, 采用标准的渐开线方程形成齿廓, 再转化为 stl 格式导入 Moldflow 模流软件, 为了保证网格的划分质量, 将齿根处小圆角特征删除, 如图 2 所示。

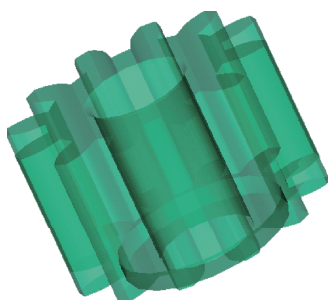


图 2 stl 图形
Fig. 2 Stl graphics

(2) 网格划分: 网格划分的质量直接影响分析的准确性, 齿轮厚度不均, 不能用中面网格, 先用表面网格进行划分^[4], 统计有 6 824 个三角形, 已连接的节点数为 3 412, 匹配百分比为 78.6%, 纵横比最大为 20.2, 不满足翘曲分析匹配度为 90%以上、最大纵横比为 6 的要求, 需对网格进行处理, 通过插入节点、节点合并、部分缩小边长、手动重新划分等手段将匹配率提高到 90.3%, 纵横比最大为 5.96, 再转化为实体网格, 实体网格考虑了熔体在厚度方向的速度分量及压力的变化, 计算和处理的结果误差较小, 如图 3 所示。



图 3 网格划分
Fig. 3 Mesh generation

3 型腔布局, 设计浇注系统

模具采用“一模四腔”的结构, 考虑到型腔的强度及充模时流长的一致性, 即每个型腔中心到模具中心的流长相等; 齿轮的外表面用来传递, 要求光滑不能有浇口的痕迹, 所以浇口只能放在上下表面, 塑件 2 mm 高的台阶与齿轮外表面有同柱度要求, 所以将型腔放在动模一侧, 选择上表面进浇并作为主分型面, 生产时采用点浇口自动断浇形式, 整个型腔布置及浇注系统的结构如图 4 所示。

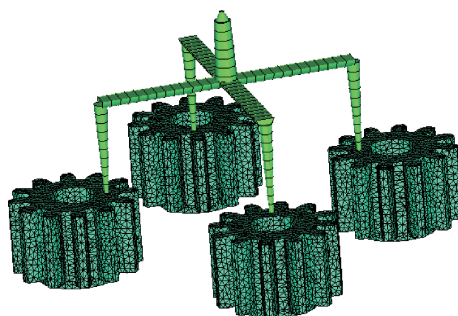


图 4 型腔布局及浇注系统
Fig. 4 Cavity layout and casting system

4 工艺参数的分析及优化

根据使用要求, 塑料齿轮在转动和传力过程中不能有大的振动, 否则会影响机器对线路板快速打孔的尺寸精度和位置精度, 也会缩短机器的寿命, 所以要严格控制塑件的翘曲变形量。影响翘曲变形的主要因素为模具温度 (A)、熔体温度 (B)、保压时间 (C) 和保压压力 (D)^[5-9]。现以塑件的翘曲变形量为评价指标, 4 个因素为研究对象, 根据成型工艺参数范围取 4 个水平, 所用材料含有部分玻纤成分, 可以增加塑件强度, 比普通 POM 的成型工艺参数更高, 用 Moldflow 软件按照表 1 中的参数组合进行“填充 + 保压 + 翘曲”模拟分析, 得到 16 组翘曲变形量, 见

表 1 工艺参数正交实验水平表

Tab. 1 Orthogonal experimental level of process parameters

水平	因素			
	A/ $^\circ\text{C}$	B/ $^\circ\text{C}$	C/s	D/MPa
1	65	215	13	85
2	70	220	16	90
3	75	225	19	95
4	80	230	22	100

表 2。极差分析结果见表 3, 极差 R 越大对目标值的影响就越大, 4 个因素对翘曲变形量的影响程度依次为: 保压压力 > 熔体温度 > 模具温度 > 保压时间; 因素中均值越小翘曲变形量就越小, 所以最优工艺参数组合为: $A_3B_3C_1D_1$, 模具温度 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、熔体温度 $225\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、保压时间 13 s 、保压压力 85 MPa , 用软件模拟验证翘曲变形最大值为 $94.2\text{ }\mu\text{m}$, 如图 5 所示。

表 2 正交实验结果

Tab. 2 Orthogonal experimental results

组别	A	B	C	D	变形量/mm
1	1	1	1	1	0.148 6
2	1	2	2	2	0.225 3
3	1	3	3	3	0.393 7
4	1	4	4	4	0.533 3
5	2	1	2	3	0.375 7
6	2	2	1	4	0.591 0
7	2	3	4	1	0.126 7
8	2	4	3	2	0.311 4
9	3	1	3	2	0.277 1
10	3	2	4	1	0.148 7
11	3	3	1	4	0.263 9
12	3	4	2	3	0.416 7
13	4	1	4	2	0.399 1
14	4	2	3	1	0.319 1
15	4	3	2	4	0.242 0
16	4	4	1	3	0.167 5

表 3 平均翘曲变形量及极差

Tab. 3 Mean warpage deformation and range

因素	平均翘曲变形量/mm				极差 R
	K_1	K_2	K_3	K_4	
A	0.325 2	0.349 5	0.276 6	0.281 9	0.072 3
B	0.300 1	0.312 1	0.256 6	0.355 6	0.099 0
C	0.292 7	0.314 9	0.323 7	0.301 9	0.031 0
D	0.185 8	0.301 6	0.338 4	0.407 6	0.221 7

从表 3 平均翘曲变形量的极差分析结果可知, 保压压力对塑件翘曲变形量的影响远大于其他因素, 以翘曲变形量为目标函数, 在最优结果上其他参数不变, 保压压力为变量, 研究单因素变化对翘曲量的影响趋势, 具体结果如图 6 所示。翘曲量随保压压力升高先减小后增加, 保压压力过小时塑件由于

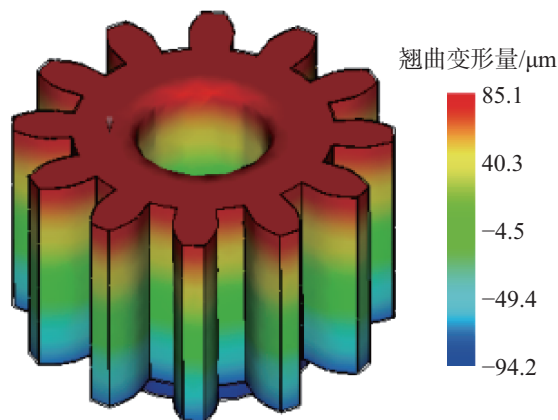


图 5 优化工艺参数后齿轮的翘曲变形量

Fig. 5 Gear warpage deformation after optimizing the process parameters

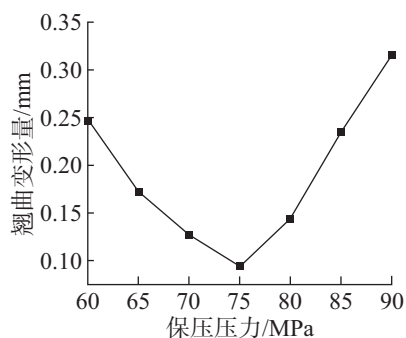


图 6 翘曲变形量变化图

Fig. 6 Warpage deformation variation diagram

补料不足会出现缺料现象, 压力较小时腔内熔体不紧实, 释放的残余应力成为收缩的部分阻力, 变形量小; 随着压力增大, 腔内熔体慢慢被压实, 收缩阻力变大, 变形量减小, 压力较大时分布的不均匀性加大了收缩的不均匀性, 增加变形量, 压力过大会出现过塑件脱模困难甚至脱模以后出现龟裂现象。

5 模具成型零件的设计

注射模中成型零件主要有型芯和型腔, 为了保证齿轮的同轴度, 将分型面置于上齿轮顶面, 整个型腔在动模一侧, 方便顶出塑件, 具体结构如图 7 所示。塑件上表面内孔有倒角, 便于加工和维修时将其拆为镶件, 小型芯置于定模一侧, 动模侧的型芯为推管型芯, 带齿廓部分的型腔用慢走丝加工, 与塑件底部台阶腔体分开加工, 然后用 4 颗螺钉锁紧。模具一模四腔, 齿轮是圆形零件, 尺寸不大, 单个型芯、型腔设计成圆柱组合式, 整体放入定模固定板和动模固定板中, 采用台肩式固定, 台阶洗掉一段圆弧, 防止旋转, 如图 8、9 所示。

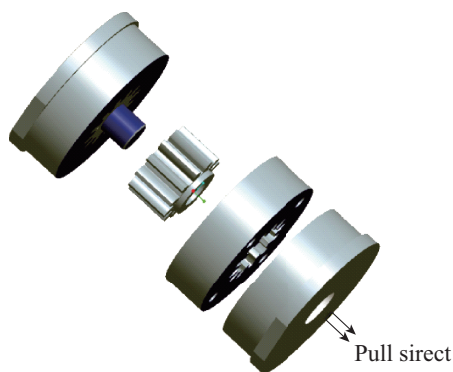


图7 成型零件
Fig. 7 Molding parts

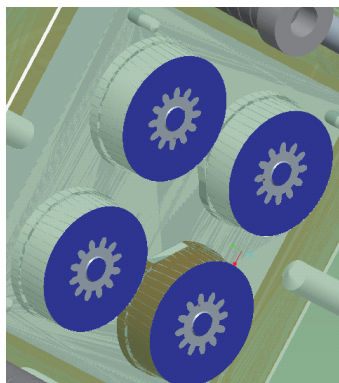


图8 定模型腔
Fig. 8 The died cavity

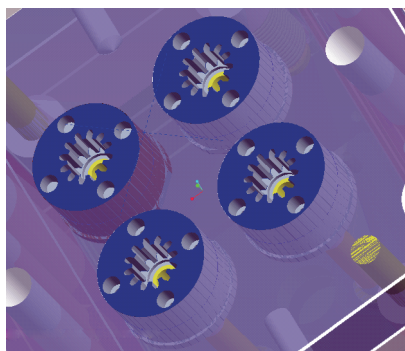


图9 动模型腔
Fig. 9 The moved cavity

6 模具总体结构设计

模具采用点浇口进浇方式, 一模四腔, 三板模结构, 自动断胶脱胶, 推管顶出, 结构如图10、11所示。模具的分型开模是以顺序定距分型来依次打开3个分型面^[10-11]。

开模时, 在分模弹簧的作用下A分型面最先分开, 在拉料杆的作用下将浇口与塑件拉断, 浇注系统留于定模一侧, 拉杆限制A分型面的分开距离, 将浇注系统推出脱落; 模具继续打开, 浇注系统和拉料杆将C分型面锁紧, B分型面继续打开, 由于塑件的包

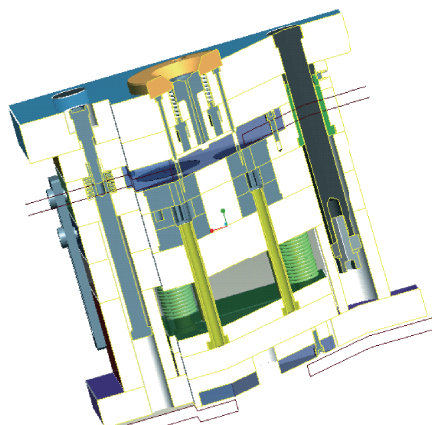
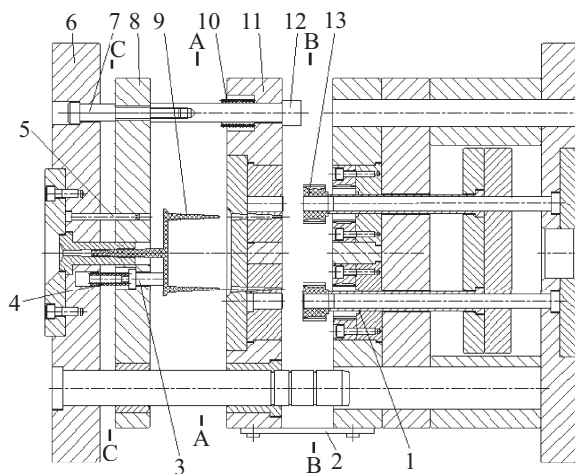


图10 模具三维剖视图
Fig. 10 3D section of mold



1—推管; 2—定距拉板; 3—弹钉; 4—弹钉弹簧;
5—拉料杆; 6—定模板; 7—螺钉; 8—分流道推板;
9—浇口凝料; 10—分模弹簧; 11—定模固定板;
12—拉杆; 13—塑件

图11 塑料齿轮模具结构
Fig. 11 Plastic gear mold structure

紧力, 塑件留在推管型芯上, 定距拉板限制B分型面的开模距离, 将塑件顶出落下; 动模继续右行, 在定距拉板、拉杆和螺钉的联合作用下, C分型面打开, 浇口凝料从拉料杆中脱出, 同时脱离主流道衬套, 在弹钉弹簧的作用下, 弹钉将浇口凝料从分流道推板中推出, 由螺钉限制C分型面的开模距离; 最后推出机构带动推管将塑件从动模型腔中推出。定模中的导柱要足够长, 在开模过程中始终不能完全离开动模的导套。

合模时, B分型面先闭合, 同时推出机构复位, A分型面开模距离缩小, 弹簧顶动分流道推板使分型面C先闭合, 最后克服弹簧的力, A分型面合模, 最终完成模具的整个开、合模动作。

7 结 语

运用 Moldflow 软件对塑料齿轮成型工艺参数进行模拟, 设计正交实验得到不同参数条件下塑件的翘曲变形量, 极差计算分析了不同成型参数对翘曲量影响程度的大小, 获得成型工艺最优方案; 用 PROE 软件完成了型腔分模和成型零件的设计, 并对一模四腔整体模具进行了结构设计, 实现了弹簧定距拉杆及定距拉板 3 次顺序定距分型, 完成自动脱模过程。

参考文献:

- [1] 张鲁滨, 黄海松, 姚立国. 基于 BP 神经网络和 MIV 算法的注塑件工艺参数优化研究 [J]. 塑料科技, 2018, 46(12): 94-99.
- [2] 江昌勇, 姜伯军. 斜齿双圆柱塑料齿轮的成型工艺分析及注塑模设计 [J]. 塑料科技, 2013, 41(5): 95-99.
- [3] 孙丽丽, 苏学满. 基于 BP 神经网络的塑料齿轮玩具注射成型优化分析 [J]. 中国塑料, 2016, 30(6): 108-115.
- [4] 田菲. 基于模流分析软件的网格划分和网格修复 [J]. 机械工程师, 2018(11): 72-74.
- [5] 赵而团, 田玉晶, 许宽. 基于 CAD/CAE 的风机罩注塑模设计及工艺优化 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(10): 81-85.
- [6] 莫彦波, 李旭东, 唐园亮. 注塑成型工艺参数对电脑显示器前框翘曲变形的影响 [J]. 塑料, 2015, 44(5): 94-96.
- [7] 徐铖, 程智虎, 陆金桂. 聚酰胺 66 齿轮注塑工艺参数优化设计方法研究 [J]. 机械传动, 2018(1): 69-72.
- [8] 曾文浩, 魏刚, 黄亚. 基于 Moldflow 和正交试验法的塑料杯注塑工艺参数优化 [J]. 塑料科技, 2016, 44(3): 70-75.
- [9] 徐斌. 基于正交分解的模具参数优化 [J]. 上海包装, 2016(6): 62-65.
- [10] 张维合. 汽车前大灯透镜大型精密注塑模具设计 [J]. 中国塑料, 2016, 30(10): 91-96.
- [11] 王吴光. 基于 UG 和 MPI 的座椅棘架顺序定距分型模具设计 [J]. 塑料, 2016(10): 32-35.