

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.06.020

复杂曲面逆向设计及模具和注射工艺优化

郭恒亚, 李金良, 胡梦飞

(浙江工业职业技术学院, 浙江绍兴 312000)

摘要:以海豚型按摩器的上壳制品为例,引入逆向设计技术,通过三维扫描仪获得已有样品的点云数据,利用 Imageware 和 Geomagic 软件对点云进行处理并重构曲面,并在此基础上进行必要的创新再设计,得到所需要产品的三维设计图。将逆向设计模型导入模流分析软件 Moldflow/MPI 中并设计出浇注系统和冷却系统,通过注射数值模拟,对关键注射工艺参数进行正交试验优化,根据制品的翘曲变形量选取一组最优的工艺参数,最终设计出一副相应的模具。结果验证,利用此方法可以大大节省模具的研发时间,降低复杂曲面制品的翘曲变形量,显著提升产品质量。

关键词:逆向设计; 重构曲面; 模流分析; 翘曲变形

中图分类号: TQ320.662 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)06-0113-05

Reverse Design of Complex Surface and Optimization of Mould and Injection Process

Guo Hengya, Li Jinliang, Hu Mengfei

(Zhejiang Industry Polytechnic College, Shaoxing 312000, China)

Abstract : Taking the upper shell product of dolphin massager as an example, the reverse design technology was introduced to obtain the point cloud data of the existing sample by 3D scanner. The point cloud was processed by using Imageware and Geomagic software and the curved surface was reconstructed. On this basis, the necessary innovation and redesign were carried out to obtain the 3D design drawing of the required product. The reverse design model was imported into the Moldflow analysis software Moldflow / MPI, and the gating system and cooling system were designed. Through the injection numerical simulation, the key injection process parameters were optimized by orthogonal experiment. A set of optimal process parameters were selected according to the warpage deformation of the product, and a corresponding mold was finally designed. The results show that this method can greatly save the development time of die, reduce the warpage deformation of complex curved surface products, and significantly improve the product quality.

Keywords : reverse design ; surface reconstruction ; moldflow analysis ; warpage deformation

市场全球化的进展越来越快,企业之间的竞争也日趋激烈,以模具设计与制造为代表的传统制造业更是受到了前所未有的挑战^[1],如何更快、更好地发展技术及利用已有技术成为摆在各个企业面前的重大课题。事实上,合理利用已有的先进技术,并通过消化吸收和再创新,可以大幅提高产品的生产效率和完善产品质量。逆向工程就是最有效的途径之一。^[2]

逆向工程是对现有的实物模型进行三维测量,

根据测量数据曲面重构出 CAD 模型,再通过重构模型特征参数的调整和修改来达到对实物模型的逼近或再创新,以便进行后续模具设计。尤其对于含有复杂曲面的产品,逆向技术能够降低产品设计的难度,减少设计时间,进而减少企业设计人员成本,降低各个环节的费用,提高企业的生产效率^[3-5]。

当然,注射工艺对模具设计制造和最终的产品质量起着决定性的作用,特别是复杂曲面的产品,对工艺参数的选择更为苛刻。近来,CAE 技术的发展

基金项目:绍兴市高等教育课堂教学改革项目(sxskg2018089),浙江工业职业技术学院专业学科一体化建设科研项目

通信作者:郭恒亚,硕士研究生,主要研究方向为材料加工工程及逆向工程

收稿日期: 2021-04-16

引用格式:郭恒亚,李金良,胡梦飞.复杂曲面逆向设计及模具和注射工艺优化[J].工程塑料应用,2021,49(6):113-117.

Guo Hengya, Li Jinliang, Hu Mengfei. Reverse design of complex surface and optimization of mould and injection process[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(6): 113-117.

也日趋成熟,它可以提供更为合理和准确的数值模拟结果,再配合科学的实验分析方法,就可以得到一组较为理想的注塑工艺参数,经优化后,就可用于实际的生产过程^[6]。

1 逆向数据采集

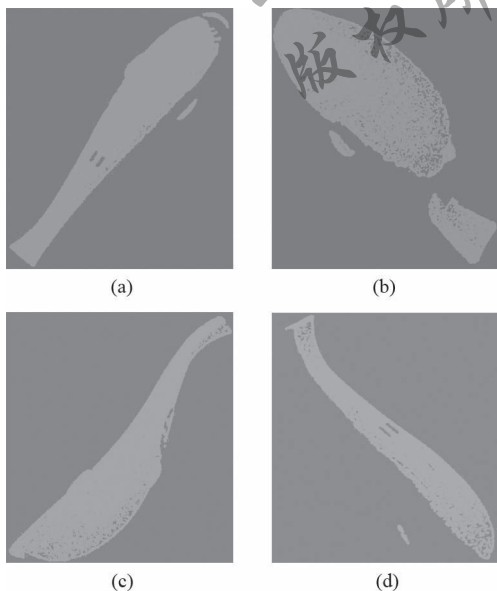
1.1 点云扫描

图1制品为一款海豚型按摩器的上壳部分,尺寸为385 mm×100 mm×120 mm,曲面较为复杂,注塑时易产生翘曲变形、开裂和熔接痕等缺陷。



图1 制品实物图

采用 ATOS 三维扫描仪对制品的复杂曲面进行点云采集。该扫描仪的测速最高可达500 000点/s,精度范围为0.005~0.01 mm,性能优良。为了更加完整和精确地获取其三维点云数据,分别从右上、右下、左上和左下四个角度对制品进行光栅式扫描,扫描数据如图2所示。



扫描角度:a—右上;b—右下;c—左上;d—左下

图2 初始扫描点云

1.2 点云预处理

为了获得完整三维数据,在扫描过程中,制件是要被移动或翻转的,这样采集的点云数据输入逆向软件中就会出现坐标不统一的现象,虽然很多扫

描仪都具备自动定位的功能,但总是有一定的错位或误差,还需要使用 Geomagic 软件的拼接功能进行人工精确拟合处理。

目前采用的主要方法是三点定位法,其原理是在扫描点云时,相邻两片之间要有一定面积的重合部分,后期拼接定位时,找到重合部分的三个点,当这三个点分别重合时,两片点云也就正确定位了。当然,为了定位更加精确,重合点的选取要遵循以下几个原则:

- (1) 重合点至少三个,可多于三个;
- (2) 重合点不能在一条直线上,也尽量不在一个平面上;
- (3) 重合点的间距尽量大。

扫描过程中,不可避免会出现一定数量的噪点和杂点,这些会对后续的曲面重造成很大影响,因此可使用 Imageware 软件去除这些坏点。之后在不影响曲面精度的前提下,为了减少计算量,需要对点云数据进行精简处理。经试验,此制件的初始点云量为40万个,精简到10万个时,模型精度没有受到影响,如图3所示。

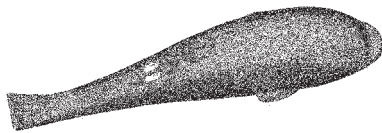


图3 预处理后的点云

2 逆向三维建模

2.1 曲面拟合

实际应用中,常见的曲面拟合方法主要有插值法、B样条法、NURBS法、Coons法、Bezier曲面法以及BP神经网络法等,不同的曲面根据其自身特征选取不同的拟合方法。

使用 Imageware 软件进行曲面拟合前,首先要对不同特征的点云剥离,分别选择合适的方法拟合重构,再将多个拟合好的曲面片进行合并,最终得到完成的曲面见图4。

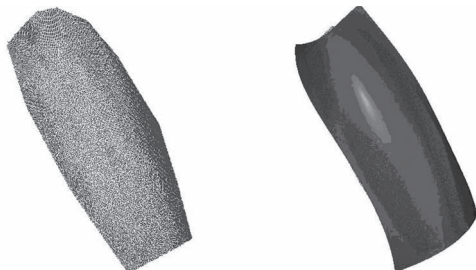


图4 点云分块及曲面拟合结果

需要注意的是,曲面拟合会存在一定的误差,如果误差过大,或曲面边界产生畸变,可通过调整拟合方法、改变UV阶次、控制点微调等方法提高精度。

2.2 三维建模

制件上存在的一些特殊特征,比如半球、圆柱、孔等,逆向软件处理起来反而会增加工作量,使用UGNX等三维造型软件会更加方便快捷。除此之外,像曲面之间的缝合、过度、裁剪等编辑操作亦使用此软件进行处理^[7]。

曲面处理完成之后,可以根据实际需要某些特征和部分曲面进行优化设计,再通过抽壳等命令得到此制件的实体三维模型,如图5所示。

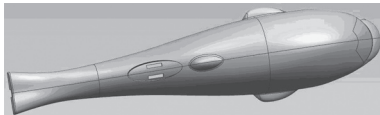


图5 制件实体三维模型

3 数值模拟及正交实验

3.1 传统工艺数值模拟

根据制品的使用性能和经济性能要求,选取材料为丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料/尼龙复合材料,其既有良好的耐磨性和强度,又具备不错的韧性。注塑中,建议熔体温度在230~290℃,模具温度范围在40~80℃,其它注射参数如锁模力、注射压力、保压压力、保压时间、冷却时间等要根据实际注射要求去选取合适的数值,在保证注射质量和完整度的情况下尽量降低翘曲变形量^[8]。

根据该制件的尺寸特征,采用一模两腔点浇口进胶的方式注射。首先对制件进行3D网格划分,网格尺寸为2.13 mm;其次添加合适的浇注系统和布置相应的冷却水道。CAE模型如图6所示。

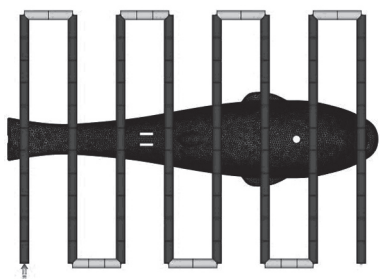


图6 CAE模型

按照传统工艺参数设置如下:熔体温度250℃,模具温度60℃,注射时间1.3 s,冷却时间20 s,其它参数选择默认,经CAE数值模拟计算,可知最大翘曲变形量为2.659 mm,如图7所示。

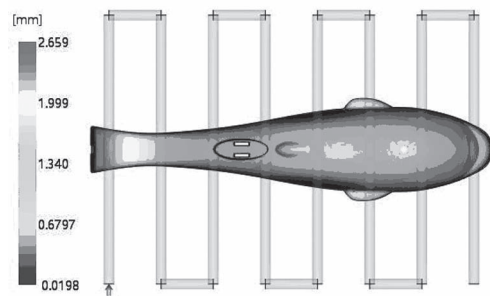


图7 翘曲变形云图(默认参数)

3.2 正交实验设置

注射工艺参数有很多,对于不同结构特征的制品,其影响大小也不尽相同,为了减少CAE分析中的巨大运算量,在此制品选取了5个对翘曲相对较为重要的影响因子及其4个水平参数值,如表1所示。

表1 重要影响因子及水平参数

水平	熔体温度/℃	模具温度/℃	注射时间/s	注射压力/MPa	冷却时间/s
1	240	45	1.3	110	20
2	250	55	1.6	120	25
3	260	65	1.9	130	30
4	270	75	2.2	140	35

3.3 实验分析

利用表1中的因素及水平参数按 $L_{16}(4^5)$ 正交表进行实验,通过数值模拟得到每一组的最大翘曲变形量,结果见表2。

表2 注射工艺参数的正交实验组合及最大翘曲变形量

序号	熔体温度/℃	模具温度/℃	注射时间/s	注射压力/MPa	冷却时间/s	最大翘曲变形/mm
1	240	45	1.3	110	20	2.742
2	240	55	1.6	120	25	2.657
3	240	65	1.9	130	30	2.575
4	240	75	2.2	140	35	2.511
5	250	45	1.6	130	35	2.486
6	250	55	1.3	140	30	2.449
7	250	65	2.2	110	25	2.521
8	250	75	1.9	120	20	2.481
9	260	45	1.9	140	25	2.430
10	260	55	2.2	130	20	2.365
11	260	65	1.3	120	35	2.224
12	260	75	1.6	110	30	2.123
13	270	45	2.2	120	30	2.388
14	270	55	1.9	110	35	2.440
15	270	65	1.6	140	20	2.362
16	270	75	1.3	130	25	2.328

由表2可以看出,第12组的制品最大翘曲变形量最小,为2.123 mm,其翘曲变形云图见图8。与比传统工艺参数的最大翘曲变形量相比,减少了20.15%,可以大大改善制品的最终质量。

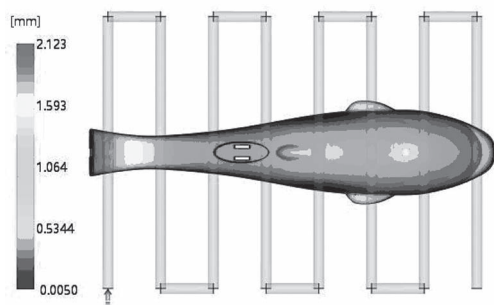
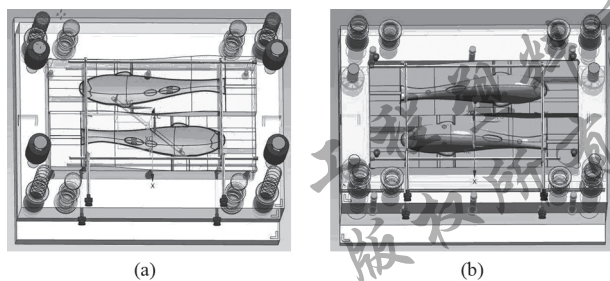


图8 翘曲变形云图(优化参数)

4 模具设计

4.1 模具三维设计

根据制品的特征结构,模具设计为一模两腔,其型腔和型芯如图9所示。由于制品的最大轮廓处为曲线,因此分型面是一个不规则的曲面,之后再根据CAE软件的分析建议设计流道、冷却水道和其它零部件^[9],最终设计出一副完整的模具,如图10所示。



a—型腔;b—型芯

图9 模具型腔、型芯

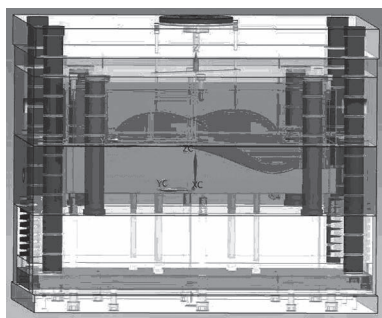


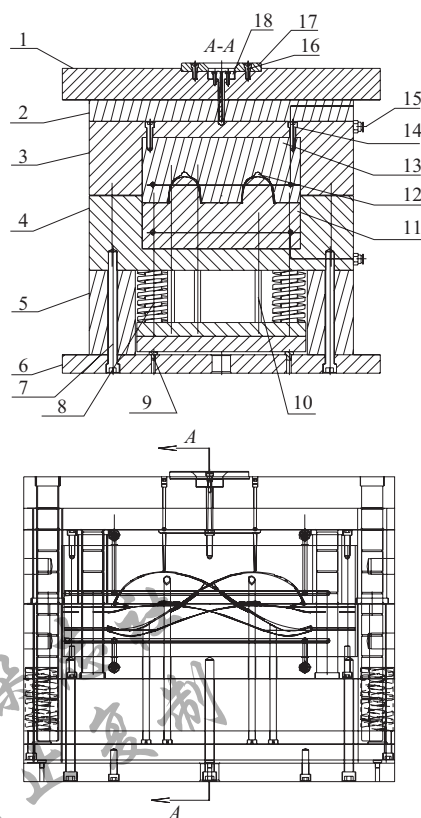
图10 模具总装图

4.2 模具结构设计

根据此制件具有复杂曲面的特点,其具体的结构设计见图11。

(1) 冷却系统设计。

注塑中,合适的选择冷却回路,能够一定程度上减少冷却时间,提高生产效率,也可使传热更加均



1—定模座板;2—定模板;3—型腔固定板;4—型芯固定板;
5—垫块;6—动模座板;7,9,14,16—固定螺钉;8—弹簧;
10—推杆;11—型芯;12—制件;13—型腔;15—冷却水管;
17—定位圈;18—浇口套

图11 模具结构

匀,减少翘曲变形,提高制品质量。根据CAE软件的分析,此冷却水管直径为8 mm,水管与制件的间距为25 mm,管道为8根,冷却水进口温度设置为25℃。

(2) 浇注系统设计。

由于该制件尺寸较大,曲面较为复杂,为了保证熔料顺利流动且不出现熔接痕,缩短注射时间,模具使用热流道并采用点浇口注射。

(3) 顶出系统设计。

为了不影响制品的外观质量,确保顶出顺利并使制品推出时不开裂和变形,设计4根推杆,分布在内表面的加强筋处。

(4) 模具工作过程。

在导向机构的作用下,动模座板6向定模座板1慢慢移动进行合模,熔料在注塑机作用下经浇口套18并通过主流道和分流道注入模具型腔13内。在经过一定时间的充填、保压和冷却过程,使塑件成

型。之后在注塑机的动力下,使动模座板 6 离开定模座板 1,制件包裹在型芯 11 上,接着推件板推动推杆 10 推出制件,至此,一个完整注塑流程结束。

5 结论

(1) 使用逆向工程技术对复杂曲面产品进行三维造型设计,大大降低了设计难度,缩短了设计时间,提高了复杂曲面精度和质量。

(2) 引入正交实验来获取最优的注射工艺参数,CAE 数值模拟结果显示,采用此方法计算出的最大翘曲变形量比传统工艺值降低 20.15%,明显改善了产品质量。

(3) 利用 CAE 软件的数值模拟分析建议,并结合制品的结构特征,设计选取合适的零件,最终完成一幅模具总装图的设计,便于后续的加工制造和产品的批量生产。

参考文献

- [1] Cui Kaibo, You Xuemin, Huang Xinxin, et al. Research on component preparation technology based on laser scanning modelling and additive manufacturing[J]. Journal of Physics:Conference Series, 2021(2): 180-182.
- [2] 姚明镜,唐璇,张春良,等. 基于逆向工程和 FDM 技术的塑料产品设计与应用[J]. 塑料科技, 2020, 48(12): 45-48.
Yao Mingjing, Tang Xuan, Zhang Chunliang, et al. Design and application of plastic products based on reverse engineering and FDM technology[J]. Plastics technology, 2020, 48(12): 45-48.
- [3] Chen Guoping, Jiang Chun. Reverse design of microring resonator channel dropping filters[J]. Results in Physics, 2020.doi:10.1016/j.rinp.2020.103380.
- [4] 舒海涛,刘治华,梁帅,等. 基于灰色关联分析法的 COC 芯片翘曲变形注塑工艺优化[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(10): 65-70.
- [5] Shu Haitao, Liu Zhihua, Liang Shuai, et al. Optimization of warpage deformation injection molding process of COC chip based on grey correlation analysis[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48 (10): 65-70.
- [5] Fan-Jiang J C, Su C W, Liou G Y, et al. Study of an online monitoring adaptive system for an injection molding process based on a nozzle pressure curve[J]. Polymers, 2021.doi:10.3390/polym13040555.
- [6] 刘锋,庞建军,陈宇轩,等. 基于 Taguchi 与 BPNN-PSO 的薄壁注塑件翘曲变形优化[J]. 工程塑料应用, 2021, 49(2): 74-79.
Liu Feng, Pang Jianjun, Chen Yuxuan, et al. Optimization of warpage deformation of thin wall injection molded parts based on Taguchi and BPNN-PSO[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(2): 74-79.
- [7] 张振扬. 基于 Moldflow 的遥控器后盖注塑制品翘曲分析及优化设计[J]. 塑料科技, 2021, 49(1): 107-109.
Zhang Zhenyang. Warpage analysis and optimization design of injection molded remote control back cover based on Moldflow[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(1): 107-109.
- [8] Bont M, Barry C, Johnston S. A review of liquid silicone rubber injection molding: Process variables and process modeling[J]. Polymer Engineering & Science, 2021.doi:10.1002/pen.25618.
- [9] 石峰,王伟伟,邹锋,等. 聚醚醚酮医疗干粉吸入器底座成型与注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2021, 49(3): 91-96.
Shi Feng, Wang Weiwei, Zou Feng, et al. Base forming and injection mold design of polysulfone medical dry powder inhaler[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(3): 91-96.