

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.11.016

管道连接筒注射成型数值模拟与模具设计优化

张帅¹, 金久芝², 陈振¹, 黄勇¹, 李鑫¹

(1. 沈阳理工大学艺术设计学院, 沈阳 110159; 2. 辽宁省建筑设计研究院, 沈阳 110159)

摘要: 根据管道连接筒的产品要求和结构特征, 运用 Moldflow 和 UG 等软件设计了注塑模具浇注系统和冷却系统, 进行了注射成型数值模拟。选择熔体温度、模具温度、保压压力、保压时间和注射时间 5 因素设计了 DOE 正交试验, 得到优化的注塑工艺参数及保压曲线。设计并制造出连接筒注塑模具, 生产出合格的产品, 验证了模拟结果的正确性。

关键词: 数值模拟; 管道连接筒; 正交试验; 工艺优化

中图分类号: TB324 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)11-0071-05

Injection Molding Numerical Simulation and Mold Design Optimizing of Pipe Connecting Tube

Zhang Shuai¹, Jin Jiuzhi², Chen Zhen¹, Huang Yong¹, Li Xin¹

(1. Art Design College, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China;

2. Liaoning Provincial Building Design & Research Institute, Shenyang 110159, China)

Abstract : According to the requirements of the pipe connecting tube products and structure characteristic, Moldflow and UG software were used to design the gating system and cooling system of injection molding and the injection molding simulation was conducted. The melt temperature, mold temperature, holding pressure, holding time and injection time five factors were chosen to design the DOE orthogonal experiment for optimizing the injection molding process parameters and pressure curve. Injection mold for the connecting tube was designed and manufactured, and the qualified products are obtained, which verified the correctness of the simulation results.

Keywords : numerical simulation ; pipe connecting tube ; orthogonal experiment ; process optimization

连接筒在管道设备中起着连接作用, 要求产品强度较高、密封性好、无注塑缺陷。注射成型过程中工艺参数设置不当容易导致体积收缩率不均和翘曲变形较大; 残余应力较大导致产品应力波动, 尤其在产品壁厚不均连接处和扭曲拐角处; 加强筋作用部位连接处内应力易集中, 缩痕指数变化起伏较高, 易产生裂纹。注射成型的非线性、多变量特性和压力波动下塑料行为的不可预测性, 使得工艺的设置及实际生产中合理工艺的保持十分困难^[1]。笔者通过运用 Moldflow 数值模拟软件, 设计并改进了连接筒的浇注系统和冷却系统, 对塑件温度分布、收缩率、剪切应力等指标进行了优化, 减少了缩痕、翘曲等注塑缺陷, 提高了产品的成品率。

1 建模及成型工艺分析

1.1 三维模型及网格划分

利用 UG 软件建立连接筒的三维模型。塑件外观尺寸为 134 mm × 147 mm × 150 mm, 壁厚不均, 最薄处为 1.25 mm, 最厚处为 4.39 mm, 质量

为 222.5 g。材料为丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料 (ABS), 可以保证塑件的耐摩擦性和较好的低温韧性^[2]。塑件的筒状表面由凹凸曲面连接组合而成, 内部镂空, 中部有加强筋, 底部有螺纹, 筒身一侧有四方凹槽, 凹槽内部垂直方向有侧抽特征。其三维造型如图 1 所示。

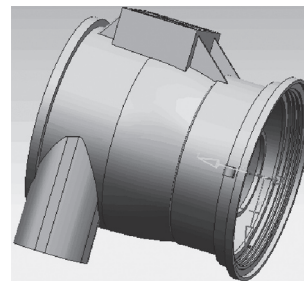


图 1 连接筒 3D 模型

将三维模型转化为 igs 格式, 导入 CAD Doctor

联系人: 张帅, 讲师, 主要从事工业设计等研究

收稿日期: 2016-08-15

进行检测,消除缺陷后导入 Moldflow 划分网格,并进行网格诊断和修复。得到模型自由边、多重边、配向不正确单元和相交单元均为 0,网格单元数是 70 238 个,网格匹配百分比为 92.36%,高于要求的 85%,满足模拟分析时的网格要求。

1.2 注塑模具浇注系统和冷却系统设计

通过 Moldflow 分析确定浇口位置,结合实际生产需求,进行多次试验模拟检查注塑过程中的填充缺陷。控制熔体的流动,防止零件主要受力部位发生熔体交汇而产生熔接痕。ABS 材料黏度中等,注塑过程中,为防止剪切速率过大超出塑料最大承受剪切而导致降解^[4],选择进料速度快、压力传递效率高的主流道型浇注系统,如图 2 所示,同时控制工艺参数,降低注塑压力,提高熔体温度和模具表面温度。避免在塑件表面留有浇点痕迹,将浇口设置在塑件内壁。良好的冷却水道设计可以均匀冷却制件,降低内部残余应力,冷却系统如图 3 示。根据流道经验公式和材料要求,设计主流道的直径为大端 6 mm,小端 3 mm,长度为 60 mm。分流道为直径 4 mm 圆柱。浇口设置为矩形,宽度 1.2 mm,高度 0.8 mm。冷却系统采用串联式冷却水道,水道在一个回路内没有分支,冷却液可以在整个水道长度内保持湍流,并以湍流方式完成冷热交换。冷却水道采用 10 mm 直径管道,水为冷却介质,恒温 25℃。

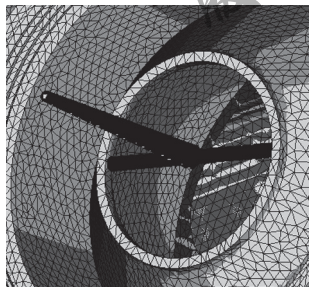


图 2 浇注系统

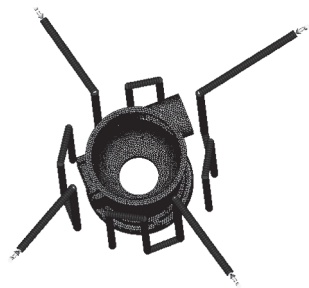


图 3 冷却系统

2 工艺参数对注射成型的影响

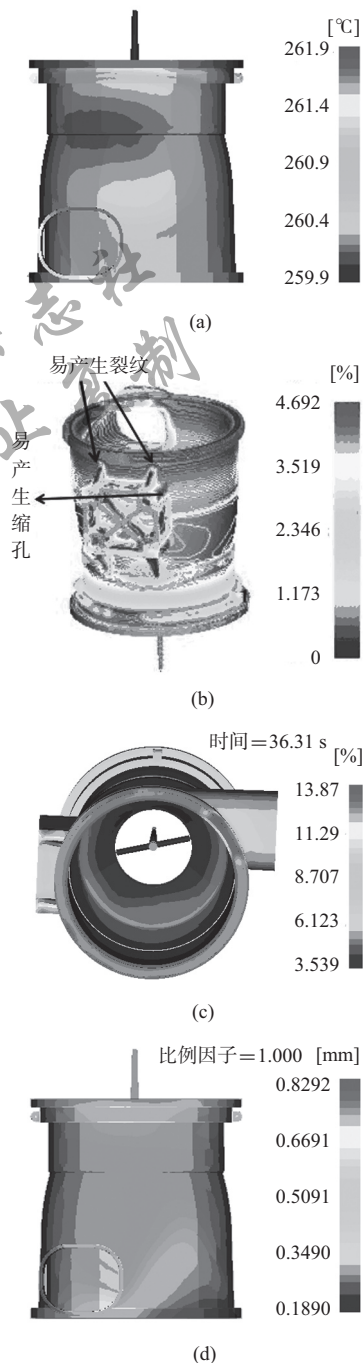
2.1 初步工艺参数设定

成型工艺参数初期设计,设定成型时间为

20 s,注射时间为 1.2 s,保压时间为 8 s,保压压力为注塑压力的 80% 即 39.5 MPa,塑件推出过程 5 s。其它采用软件推荐的工艺参数。

2.2 初期模拟分析结果

经过试模拟一段时间得出结果,其主要反映注塑过程中的相关动态过程^[5],由于分析的结果众多,在此选取流动前沿温度、缩痕指数、体积收缩率和翘曲变形等主要结果,如图 4 所示。



a—流动前沿温度;b—缩痕指数;c—翘曲变形;d—体积收缩率

图 4 初期模拟结果

图4显示,熔体流动合理,浇注系统设计基本合理,没有流动受阻现象。流动前沿温度总体比较均匀,最高温度为261.9℃,最低温度为259.9℃,温差较小,温度分布非常均衡。缩痕指数是指塑件产生缩痕、缩孔的可能性大小,其最高为4.692%,最低为负值,分布不均匀。缩痕指数在筋位和圆筒交接处呈正负值突变,塑件变形呈凹凸起伏,易导致产品应力集中超出材料屈服强度,导致开裂。体积收缩率较高,且较高部分主要分布于填充末端,需优化保压曲线改善控制。体积收缩率较高且不均匀,导致塑件内应力较高且集中,引起翘曲变形较大,主要分布在流动末端,翘曲为0.8292 mm。冷却系统设计合理,由冷却不均造成的翘曲为0.0135 mm,可以忽略不计。

需要提高熔体温度,降低流动前沿经过圆角交界处的剪切应力,减小缩痕指数;提高注塑时间,减小注塑压力,减少残余应力;优化保压曲线,适当增加保压时间和保压压力,减小并均匀化塑件体积收缩率,控制制件内应力分布均匀,降低翘曲。

3 正交试验设计

注塑过程中各工艺参数具有关联性,注塑压力提高会导致注塑时间减少,熔体温度升高会导致注塑压力减少,冷却时间增长,也会使注塑时间减少等。因此考察模具温度(*M*)、熔体温度(*R*)、注射时间(*Z*)、保压时间(*B*)、保压压力(*N*)5个对产品成型质量影响较大且相互无关的工艺参数来设计正交试验^[1]。根据材料特性,为每个变量设定了3组水平,见表1。

表1 正交因素水平表

水平	<i>M</i> /℃	<i>R</i> /℃	<i>Z</i> /s	<i>B</i> /s	<i>N</i> /%
1	55	245	1.2	11	80
2	65	255	1.5	13	85
3	75	265	1.8	15	90

利用这5个工艺参数建立5因素3水平的正交试验方案 $L_9(3^5)^{[6]}$,结果见表2。

表2 正交试验方案与结果

试验号	<i>B</i> /s	<i>M</i> /℃	<i>R</i> /℃	<i>Z</i> /s	<i>N</i> /%	缩痕指数/%	翘曲/mm	体积收缩率/mm
1	11	55	245	1.2	80	1.432	0.4534	13.82
2	11	65	255	1.5	85	3.045	0.876	12.75
3	11	75	265	1.8	90	2.346	0.543	11.09
4	13	55	245	1.2	80	2.212	0.597	11.57
5	13	65	255	1.5	85	0.9492	0.3389	9.175
6	13	75	265	1.8	90	2.897	0.668	10.34
7	15	55	245	1.2	80	4.692	0.8292	12.23
8	15	65	255	1.5	85	3.675	0.6530	9.56
9	15	75	265	1.8	90	3.341	0.7965	10.02

从表2可以看出,体积收缩率、翘曲变形和缩痕指数随着工艺改变而变化的趋势相似,其中翘曲变形和缩痕指数受各种因素影响变化差异较大。

通过表2数据设计DOE实验,得到各因素对指标的影响大小,如表3所示。

表3 各因素对指标的影响大小

项目	<i>R</i>	<i>Z</i>	<i>B</i>	<i>M</i>	<i>N</i>
体积收缩率	19.45	10.17	26.85	8.68	6.35
翘曲	14.65	14.38	2.32	10.44	62.21
缩痕指数	17.89	7.35	23.25	7.38	48.27

由表3可看出,三个指标中,体积收缩率受因素变化差异较大,不均匀的体积收缩率导致翘曲变形和塑件缩痕变化。根据实际经验,各指标的影响重要性不一样,为更好地体现出各指标对塑件的质量影响度,将体积收缩率、缩痕指数和翘曲变形的权重分别取0.7、0.1和0.2,每个实验的计算方法为:综合分数=体积收缩率×0.7+缩痕指数×0.1+翘曲×0.2,其分数越低代表塑件质量越好^[8]。综合分析结果如表4所示。

表4 直观分析表

试验号	综合分数
1	9.779
2	9.404
3	8.106
4	8.439
5	6.585
6	7.661
7	9.196
8	7.190
9	7.515

综合表2与表4可看出,最好的工艺组合如下:保压时间为13 s、保压压力为注塑压力的85%、模具温度为65℃、熔体温度为255℃、注射时间为1.5 s。

由于熔融状态聚合物的黏弹性,模腔内压力无法快速做出回应,可能会导致熔体回流,设计保压曲线为先恒压后线性递减,这样压力分布较均匀,可有效减小收缩率过大导致的翘曲变形和防止过保压^[9]。由图4c可知体积收缩率较高且不均匀,较高部分主要分布于圆壳的填充末端,需优化保压曲线改善控制。设置总保压时间为13 s,增加恒定压力作用时间为8.5 s,减小线性减压作用时间为4.5 s,且将保压压力增加为注塑压力的85%,如图5所示。

4 优化工艺参数后模拟结果

将优化后的工艺参数进行数值模拟,结果如图6所示。

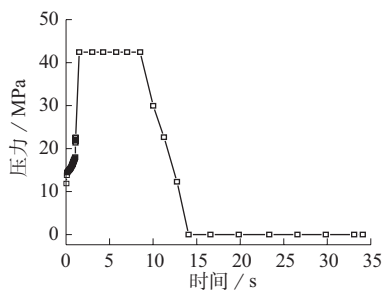
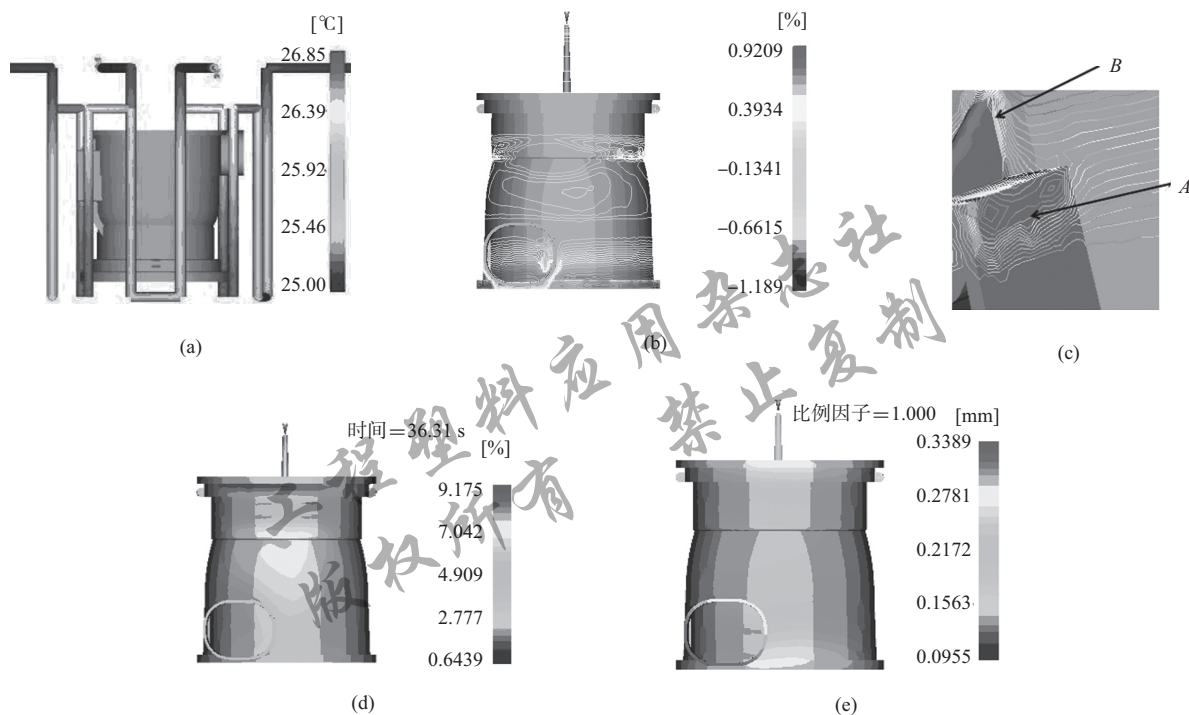


图5 保压曲线

冷却回路以水为冷却介质,恒温为 25℃,回路雷诺数选择默认的 10 000,由产品冷却回路的情况可知,冷却介质的温度差为 1.85℃,如图 6a 所示,满足实际生产温度小于 3℃的要求,冷却不均造成的翘曲为 0.013 5 mm,可以忽略不计;缩痕指数由工艺优化前的最高 4.692% 降低为 0.92%,易产生裂纹的 B 位置和易产生缩孔的 A 位置,缩痕指数分布较为均匀,如图 6b、图 6c 所示,可有效降低



a—回路冷却液温度;b—缩痕指数;c—易开裂和缩孔位置;d—体积收缩率;e—总翘曲变形

图6 参数优化后的模拟结果

缺陷形成概率;塑件体积收缩率降低为 9.175%,且分布较为均匀,如图 6d 所示;翘曲变形由优化前的 0.829 2 mm 降低为 0.338 9 mm 如图 6e 所示,有效改变了翘曲太大导致无法自然装配的问题^[10]。塑件成型质量较好,模拟结果显示塑件各项指标均达到了质量要求。

5 模具设计及生产验证

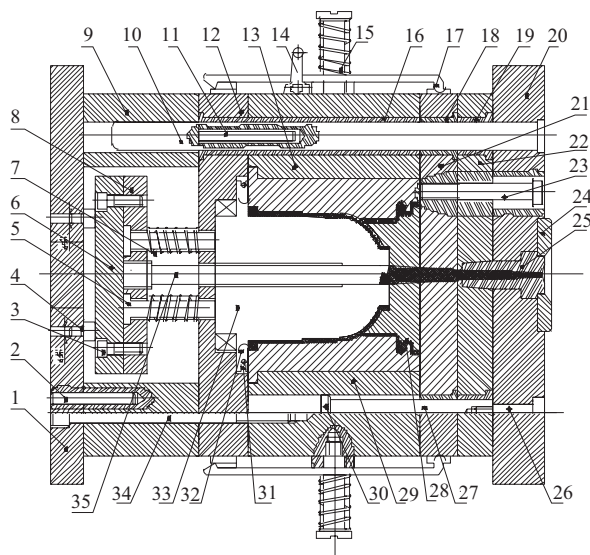
连接筒结构复杂,内部带有螺纹,采用瓣合模的结构,通过斜导柱抽芯机构,带动滑块,方便开模取件。采用手动模外脱螺纹型芯的方法,减小模具复杂程度。根据塑件结构特点和实际生产需求,设计为一模一腔。模具结构如图 7 所示。

按照模拟优化的注塑工艺参数进行注塑生产验证,生产出的连接筒产品如图 8 所示。产品外壁光滑,无明显熔接痕,质量合格。

6 结论

(1) 通过正交试验确定出的优化工艺参数为:熔体温度 255℃;模具温度 65℃;注射时间 1.5 s;恒定保压压力作用时间为 8.5 s,线性减压作用时间为 4.5 s;保压压力为注塑压力的 85%。

(2) 根据优化方案设计制造出合格的连接筒注塑模具。用优化的注塑工艺参数及生产出的模具进行了生产验证,得到合格的连接筒产品,证明数值模拟结果可以应用于生产实际中。



1—动模座板;2—定位销;3,23,26,34—内六角螺钉;4,11—限位钉;
5—推杆;6—推杆底板;7,15,31—弹簧;8—推杆固定板;9—垫块;
10—带头导柱;12—支撑板;13—动模板;14—开槽圆柱螺钉;
16,18,19—带头导套;17—锁钩;20—定模座板;21—定模板;
22—推料板;24—定位圈;25—浇口套板;27—定距拉杆;28—螺纹型芯;
29—滑块;30—螺母;32—卡环;33—定模型芯;35—拉料杆

图7 连接筒模具结构图



图8 生产出的连接筒产品

参考文献

- [1] 朱羽辰. 凸起偏心类杯状注塑件成型开裂分析及工艺研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
Zhu Yuchen. Cracking analysis and process of cup transparent injection production with eccentric convex [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.
- [2] 刘细芬, 黄家广. 基于 Moldflow 软件的注塑制件浇口优化设计 [J]. 塑料工业, 2007, 35(12): 36-38.
Liu Xifen, Huang Jiaguang. Injection parts gate optimization design based on Moldflow software [J]. China Plastics Industry, 2007, 35(12): 36-38.
- [3] 赵蓓蓓. 注塑件注塑成形的数值模拟及翘曲变形控制 [D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
Zhao Beibei. Numerical simulation of injection molded parts forming and warping deformation control [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2012.
- [4] 韩颖, 王承志, 黄勇, 等. 壳体注塑成型数值模拟及工艺研究 [J]. 沈阳理工大学学报, 2016, 35(1): 50-57.
Han Ying, Wang Chengzhi, Huang Yong, et al. Numerical simulation and process study of shell injection molding [J]. Transactions of Shenyang Ligong University, 2016, 35(1): 50-57.
- [5] Ching Piao, Chen Ming. Simulation and experimental study in determining injection molding process parameters for thin-shell plastic parts via design of experiments analysis [J]. Expert Syst. Appl, 2009(36): 52-59.
- [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.
Cheng Bo, Wang Changlong, Bian Yixiang, et al. Design of 3D suction type blow mold for automotive turbocharger intake pipe [J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(7): 68-70.
- [7] Tsai Kuoming, Hsieh Chungyu, Lo Weichun. A study of the effects of process parameters for injection molding on surface quality of optical lenses [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209 (7): 3 469-3 477.
- [8] 李云雁, 胡传荣. 试验设计与数据处理 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
Li Yunyan, Hu Chuanrong. Experiment design and data processing [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [9] 赵龙志, 赵明娟, 宋金良, 等. 汽车内饰件下装饰盖注塑模具设计 [J]. 塑料工业, 2007, 35(10): 32-34, 56.
Zhao Longzhi, Zhao Mingjuan, Song Jinliang, et al. Design of injection mould for nether decoration lid of automobile inner decoration [J]. China Plastics Industry, 2007, 35(10): 32-34, 56.
- [10] 李德群. 现代塑料注塑成型的原理、方法与应用 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2005: 159.
Li Dequn. Principle, method and application of modern plastic injection molding [M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2005: 159.