

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2020.05.017

基于 POLYFLOW 的药瓶吹塑成型壁厚优化

莫壮壮, 刘淑梅, 宋志远, 赵毅, 潘泓谊

(上海工程技术大学材料工程学院, 上海 201620)

摘要:为解决医用药瓶吹塑过程中塑件壁厚不均的问题,课题组利用 ANSYS 软件中的 POLYFLOW 模块对其进行了成型模拟。通过设计 $L_9(3^3)$ 正交实验表,研究不同吹胀压力、吹胀时间及模具运动速度对塑件壁厚的影响,从而制定出最佳的工艺参数;再对最佳的工艺参数进行模拟验证,最后通过实际生产验证模拟的结果正确与否。结果表明:吹胀时间 8 s、吹胀压力为 0.1 MPa 和模具运动速度为 0.9 m/s 时,得到的产品质量较好,壁厚较为均匀。通过该研究为吹塑制件的壁厚控制提供了参考,在一定程度上降低了生产成本。

关键词:吹塑制件;医用药瓶;POLYFLOW;正交实验

中图分类号:TQ320.66;TH162

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2020)05-0094-05

Optimization of Wall Thickness of Blow Molding of Pharmaceutical Bottle Based on POLYFLOW

MO Zhuangzhuang, LIU Shumei, SONG Zhiyuan, ZHAO Yi, PAN Hongyi

(School of Materials Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: In order to solve the problem of uneven wall thickness of blown-plastic parts in the process of blow molding, the wall thickness was simulated by using the POLYFLOW module in the ANSYS software. By designing $L_9(3^3)$ orthogonal experimental table, the effects of different blowing pressure, blowing time and mold movement on the wall thickness of plastic parts were studied, and the optimal process parameters were worked out. Then the simulation of the best process parameters was verified, and the simulation was verified through the actual production. The results show that the product quality is better and the wall thickness is more uniform when the expansion time is 8 s, the blowing pressure is 0.1 MPa, and the mold velocity is 0.9 m/s. This research can provide effective guidance for the wall thickness of blown-plastic parts and reduce the production cost to some extent.

Keywords: blown-plastic parts; medical medicine bottle; POLYFLOW; orthogonal test

随着塑料制品的种类和形状不断增多,新的塑料成型工艺也随之诞生。吹塑成型是继挤出成型与注塑成型后的第3种塑料成型方法,与挤出成型和注塑成型相比,其模具费用低廉,并且可以成型形状复杂,性能较高的制品^[1]。吹塑成型又分为挤出吹塑、拉伸吹塑以及注射吹塑3种吹塑方法,其中挤出吹塑成型是应用最广泛的一种^[2]。目前挤出吹塑制品已被广泛应用,主要分为2类:一类是结构对称,尺寸相对较小的包装容器;另一类是形状复杂的工业制件,如汽车配件和医疗配件等^[3]。但由于吹塑件通常都是中空制

件,因此很容易产生塑件壁厚不均匀的现象。所以针对这种现象,一种有效的方法是:利用 POLYFLOW 软件对其进行模拟分析以获得最佳的工艺参数,从而减少实验成本,提高产品的成型质量。

随着医用塑料瓶的需求越来越大,人们对其性能质量要求也越来越高。目前广大学者研究最多的就是塑件的壁厚问题。课题组针对医用药瓶,研究了吹胀时间、吹胀压力以及模具运动速度对其壁厚的影响,设计了正交实验并制定最佳的成型方案,以期对吹塑制件的壁厚控制提供参考。

收稿日期:2019-10-16;修回日期:2020-05-15

第一作者简介:莫壮壮(1995),男,江苏盐城人,硕士,主要研究方向为吹塑模具。通信作者:刘淑梅(1968),女,上海人,副教授,主要研究方向材料加工工程模具。E-mail:15722867358@163.com

1 三维模型与网格划分

首先假设在吹塑过程中,熔体流动遵循流体运动的 3 个定律即:质量守恒定律、动量定律及能量守恒定律^[4]。本次实验所用的材料为高密度聚乙烯(HDPE),其具有良好的耐热性和耐寒性,化学稳定性好;还具有较高的刚性和韧性,机械强度高;介电性能,耐环境应力开裂性亦较好^[5]。课题组通过 UG 软件绘的制药瓶三维图及二维图如图 1 所示。瓶子总高 74 mm,底部直径为 48 mm,瓶口直径为 35 mm。假设模具到型坯的距离为 100 mm,模具为等温模具。

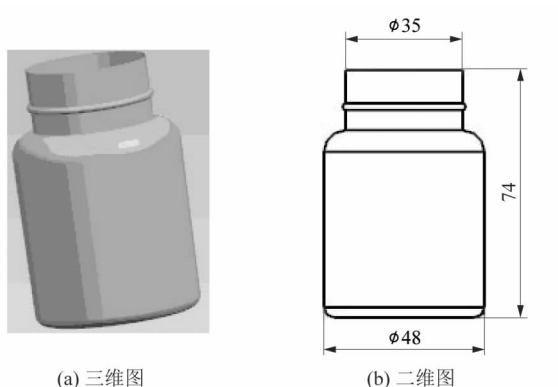


图 1 UG 图

Figure 1 UG diagram

然后通过 UG 导出瓶子为 IGES 格式,打开 ANSYS 中的 POLYFLOW 模块,将 IGES 格式文件导入其中,对其进行网格划分,划分结果如图 2 所示。

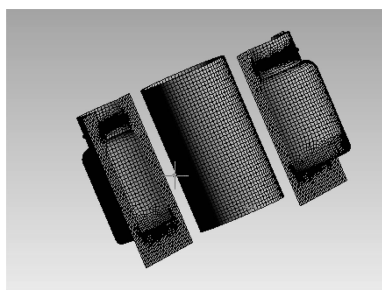


图 2 划分网格

Figure 2 Gridding

通常在塑件倒角等地方很容易出现起皱破裂等现象,因此我们在划分网格的时候要对这些区域进行网格细化。

2 正交实验设计

吹胀压力在塑件成型过程中是一个非常重要的参数,吹胀压力过大,可能会导致胀模,即模具不能锁紧,这时就需要很大的锁模力;吹胀压力过小,可能会导致

型腔填充不足。因此,合理的吹胀压力对塑件成型起着非常重要的作用。同时,吹胀时间、模具运动速度对于产品成型过程中的壁厚均匀性也有很大的影响。正交实验的方案如下:①首先选取适当的工艺条件,然后分别在其附近选取 10 个合适的点;②分别对吹胀时间,吹胀压力和模具运动速度设计 3 个水平,其因素水平表如表 1 所示。

表 1 正交实验表

Table 1 Orthogonal experiment table

水平	吹胀压力 A/MPa	吹胀时间 B/s	模具运动速度 C/(m·s ⁻¹)
1	0.1	4	0.5
2	0.3	8	0.7
3	0.5	12	0.9

3 模拟结果分析

3.1 边界条件

进入 ANSYS 中的 POLYFLOW 模块,选择瞬态分析,设置流动边界条件。对于吹塑成型来说,主要包括模具的定义以及子任务型坯的定义^[6]。模具定义具体包括模具区域、接触条件及模具运动参数。子任务包括型坯区域、流动条件、吹胀压力、材料属性以及材料壁厚等参数^[7]。本次实验中,设定型坯初始壁厚为 0.008 m,考虑惯性及重力因素,重力加速度为 -9.81 m/s^2 ,HDPE 密度为 0.9 g/cm^3 ,黏度为 $10\,000 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。在定义模具运动时,需要采用渐进(斜坡)函数进行数值参数的设定,以 $A_1 B_1 C_1$ 为例,模具运动斜坡函数如图 3 所示。

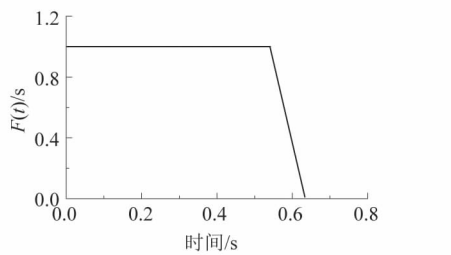


图 3 模具运动斜坡函数

Figure 3 Mold movement slope function

3.2 吹塑过程模拟

通常情况下,吹塑过程要包括模具合模挤压型坯和吹塑膨胀 2 个阶段^[8]。在大致确定型坯温度、吹胀压力及模具运动速度的大小,初步对塑件进行模拟分析,可以得出此参数下的整个塑件的壁厚情况变化。模拟结果如图 4 所示。

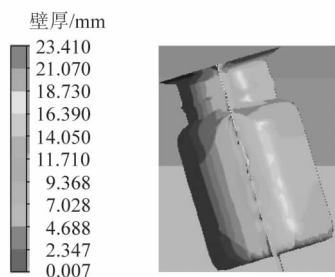


图4 吹塑模拟壁厚结果

Figure 4 Blow molding simulation wall thickness results

从图4中可以看出,该瓶子为轴对称制件,两边的壁厚情况基本一致,瓶子总体来说壁厚均匀,瓶身处壁厚在4.69~9.37 mm左右,瓶口及瓶底壁厚在2.35~4.69 mm左右;在合模处会产生熔接痕,通常此处的壁厚相对瓶身及瓶口瓶底来说要厚得多,如图所示熔接处壁厚在14.1~23.4 mm左右。这是由于熔接处先接触模具,不存在倒角,而在瓶身、瓶口以及瓶底处存在倒角,倒角处在吹塑成型过程中会持续变形,因此导致此处的壁厚相对熔接处的壁厚要薄许多。

4 结果与讨论

4.1 壁厚分析

判断一件制品好坏的关键指标就是制件的壁厚是否均匀,通常制件质量越好,其壁厚也越均匀。本次实

验选取该制件上10个点为研究对象,这10个点都为壁厚转折点。采用局部特征代表整体均匀性的方法具有代表性^[9]。所选用的10个点位置如图5所示,空间坐标位置如表2所示。

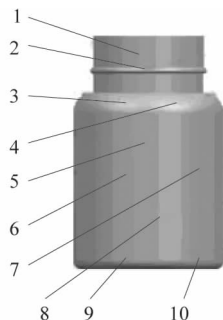


图5 10个点的空间位置

Figure 5 Spatial positions of 10 points

表2 10个点的空间位置

Table 2 Spatial positions of 10 points

点号	坐标轴			点号	坐标轴		
	X/mm	Y/mm	Z/mm		X/mm	Y/mm	Z/mm
1	50	-18	69.0	6	41	-22	31.0
2	51	-18	63.0	7	64	-20	29.0
3	42	-21	53.0	8	50	-24	18.0
4	63	-19	53.0	9	39	-22	4.0
5	50	-24	44.0	10	67	-17	3.8

9种工艺方案的10个点壁厚情况如表3所示。

表3 10个点的壁厚

Table 3 Wall thickness of 10 points

点号	壁厚/mm								
	$A_1B_1C_1$	$A_2B_2C_2$	$A_3B_3C_3$	$A_3B_2C_1$	$A_2B_1C_3$	$A_3B_1C_2$	$A_1B_3C_2$	$A_1B_2C_2$	$A_2B_2C_1$
1	17.0	11.0	3.0	6.5	13.0	14.0	9.8	13.0	10.0
2	14.0	9.9	2.5	4.8	14.0	12.0	11.0	12.0	13.0
3	2.4	5.3	3.8	2.5	2.5	3.0	4.0	4.0	5.4
4	2.3	5.4	3.6	2.8	3.2	3.2	4.2	4.5	7.6
5	15.0	9.0	16.0	22.0	6.0	11.0	12.0	11.0	8.9
6	3.6	4.5	3.1	5.5	4.0	8.0	6.5	6.8	6.5
7	4.8	4.6	2.2	7.0	5.0	9.8	6.7	7.2	7.0
8	18.0	16.0	21.0	6.8	9.8	14.0	15.0	15.0	12.0
9	2.3	8.4	2.3	12.0	3.8	5.6	1.8	7.9	5.0
10	2.4	7.9	2.5	5.8	4.5	5.8	1.6	8.0	5.2

图6所示为9种方案所选10个点的壁厚折线分布图。

图中平均厚度为8 mm,通常塑件每一点的壁厚与均值的偏离程度越小,则说明壁厚间差距也越小;反之,塑件每一点的壁厚情况与均值的偏离程度越大,则说明壁厚间差距也越大。从图中可以看出10个点总

体趋势是相同的,相比较而言, $A_1B_3C_2$ 方案中壁厚与均值偏离程度总体较小,因此初步判定选用 $A_1B_3C_2$ 方案。

4.2 方差分析

设置了9组正交实验,分析10个点的壁厚情况,结果如表4所示。

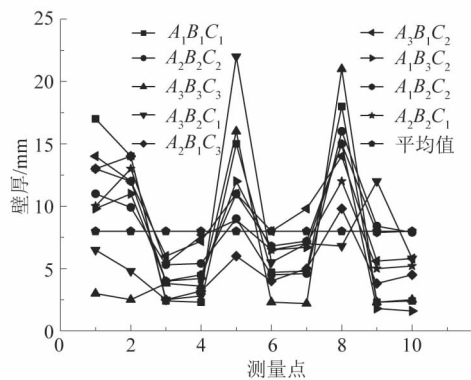


图6 10个位置壁厚分布情况

Figure 6 Wall thickness distribution of 10 positions

表4 $L_9(3^3)$ 正交实验表

Table 4 $L_9(3^3)$ orthogonal experiment table

实验号	吹胀压力 A	吹胀时间 B	模具运动速度 C	壁厚/mm
1	1	1	1	3.6
2	1	2	2	4.5
3	1	3	3	3.1
4	2	1	2	5.5
5	2	2	3	4.0
6	2	3	1	8.0
7	3	1	3	6.2
8	3	2	1	6.8
9	3	3	2	6.5

接着对其进行极差分析,极差分析结果如表5所示。

表5 极差分析

Table 5 Range analysis mm

因素	k_1	k_2	k_3	极差
A	3.500	5.833	6.500	3.000
B	4.860	5.100	5.860	1.000
C	6.130	5.502	4.130	2.000

注: k_1, k_2 和 k_3 为1,2,3水平下的均值。

从极差分析表可以看出,其影响权重分别为吹胀压力大于模具运动速度大于吹胀时间,即 $A > C > B$,最佳方案为 $A_1B_3C_2$ 。

通常用 R^2 即可决系数来表示度量拟合优度的统计量^[10], R^2 最大值为1。 R^2 的值越接近1,说明回归直线对观测值的拟合程度越好;反之, R^2 的值越小,说明回归直线对观测值的拟合程度越差^[11]。对二次曲线方程进行拟合,拟合曲线如图7所示。拟合优度 $R^2 = 98.25\%$,与预测值基本一致。

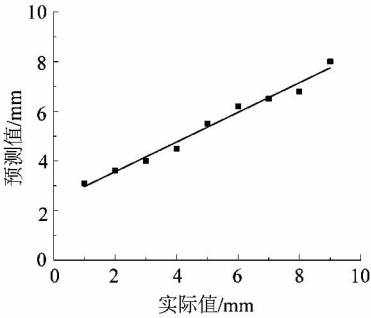


图7 实际值与真实值拟合曲线

Figure 7 Fitting curve of actual and real value

通过拟合曲线可以最终得出最佳的工艺参数,吹胀压力为0.1 MPa,吹胀时间为12 s,模具运动速度为0.7 m/s。

4.3 型坯壁厚优化分析

由于型坯在下落过程中会受到重力的影响,其底部的厚度要大于顶部的厚度,并且其厚度从上往下是逐渐加厚的,因此在吹塑过程中要根据具体情况来调整壁厚大小。通常在生产过程中会将型坯底部厚度设置的薄一点,顶部厚度设置大一点,这样就能够型坯下落过程中通过壁厚变化来调节整体壁厚。优化前后的制件壁厚对比如图8所示。

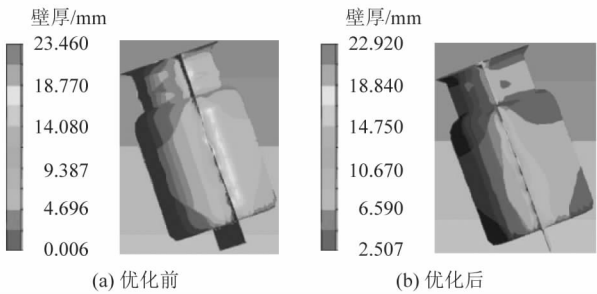


图8 优化前后对比图

Figure 8 Comparison before and after optimization

从图8中可以看出,优化前的最大和最小壁厚相差较大,均匀性较差;优化后的最大和最小壁厚差距减小,均匀性较好。优化前最大壁厚为23.46 mm,而优化后最大壁厚为22.92 mm,比优化前减小了0.54 mm。因此通过控制型坯射料过程中的壁厚能有效提升产品性能。

5 生产验证

设计正交实验得到最佳工艺参数,调节型坯壁厚优化产品质量^[12]。所选10个点壁厚情况如表6所示,折线分布如图9所示。

表6 10个点壁厚情况
Table 6 Wall thickness of 10 points

测量点	壁厚/mm	测量点	壁厚/mm
1	16.0	6	5.2
2	14.0	7	5.4
3	3.5	8	14.0
4	4.0	9	8.0
5	18.0	10	8.2

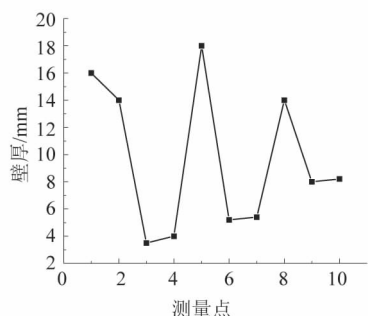


图9 10个点壁厚情况

Figure 9 Wall thickness of 10 points

最终优化的产品与实际产品如图10所示。

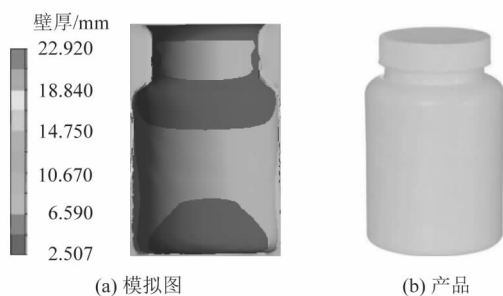


图10 模型与制品

Figure 10 Model and artifact

6 结语

课题组通过对吹塑药瓶进行研究发现：

1) 吹塑制件壁厚是否均匀对于吹塑制件成型质量有着非常大的影响,影响壁厚制件的因素分别为吹胀压力、模具运动时间以及吹胀时间;

2) 可以通过设计正交试验得到最优工艺参数,从而提高产品壁厚均匀性。

本研究可以为吹塑工艺壁厚控制提供一定的参考。

参考文献:

- [1] 刘丽娜,马鑫.塑料成型加工工艺[J].时代农机,2014(5):91-92.
- [2] 李海梅,高峰,申长雨.塑料成型加工实用技术讲座(第九讲):吹塑成型发展现状[J].工程塑料应用,2003,31(11):54-58.
- [3] 陈杰,廖秋慧,张银龙,等.挤吹医用床头板加强筋的结构优化[J].塑料科技,2018(10):91-94.
- [4] 夏增艳,郭毅,张亮,等.垂直轴潮流能发电装置模型测试技术研究[J].海洋技术学报,2013,32(4):104-106.
- [5] 江盛玲,华幼卿.聚碳酸酯耐环境应力开裂性能的研究[J].塑料工业,2011,39(5):82-85.
- [6] GALEAZZO F C C, MIURA R Y, GUT J A W, et al. Experimental and numerical heat transfer in a plate heat exchanger[J]. Chemical Engineering Science, 2006, 61(21): 7133-7138.
- [7] 胡玉玲,刘淑梅,廖秋慧,等.基于正交试验的挤出吹塑制件壁厚优化[J].塑料,2019(3):57-60.
- [8] 贺频艳,顾春苗,段耀龙,等.一种中空吹塑成型工艺及模具:CN104339626A[P].2015-02-11.
- [9] 朱海峰,赵春晖.图像特征点分布均匀性的评价方法[J].大庆师范学院学报,2010,30(3):9-12.
- [10] 李荣,徐永江,柳学周,等.黄条鲷(seriola aureovittata)形态度量与内部结构特征[J].渔业科学进展,2017,38(1):145-152.
- [11] CIANFROCCA R, ROSANO L, TOCCI P, et al. Blocking endothelin-1-receptor/ β -catenin circuit sensitizes to chemotherapy in colorectal cancer[J]. Cell Death & Differentiation, 2017, 24(10): 1811-1820.
- [12] 张旭,吉卫喜,朱明清,等.基于虚拟正交试验的TA2弯头冷推制工艺参数优化设计[J].锻压技术,2015,40(2):46-51.