

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.01.015

基于综合平衡法的花盆件浇注系统优化设计

邓召旭, 刘泓滨*

(昆明理工大学机电工程学院, 云南 昆明 650500)

摘 要:针对浇注系统的不合理设计对制品质量产生重要影响的问题,提出利用综合平衡法对浇注系统优化的方案。以塑料花盆件为研究对象,在Pro/E中建立模型,借助Moldflow的分析功能,选用PP材料,采用点浇口填充方式;结合正交试验法来分析塑件结构、浇口尺寸和浇口个数对制品翘曲变形量和体积收缩率的影响规律;采用极差分析法分别研究产生最小翘曲变形和最小体积收缩率时的因素组合;运用多目标综合平衡法,选出同时满足最优翘曲变形量和体积收缩率的因素组合,并进行验证分析,从而证明了优化方案的合理性。该设计控制了收缩变形的产生,使产品质量得到了一定改善,为模具设计提供了参考。

关 键 词:注塑成型;浇注系统;正交设计;翘曲变形;综合平衡法

中图分类号:TQ320.66 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2016)01-0064-05

Optimal Design of Plastic Flowerpot Gating System Based on Integral Balance Method

DENG Zhaoxu, LIU Hongbin*

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650500, China)

Abstract: Aiming the problem that the unreasonable design of gating system seriously affect the product quality, this paper proposed an optimal design scheme of gating system based on integral balance method. The plastic flowerpot as research object, established the model in Pro/E, using the analysis function in Moldflow, chose PP as material, filling with the point gate. Combined with orthogonal test method to analyze the influence of product structure, gate size and gate number on warping deformation and volume shrinkage ratio. Studied the factor combinations of minimum warpage and minimum volume shrinkage ratio by range analysis method. Using the integral balance method, selected the factor combination which meet the minimum warpage and the minimum volume shrinkage ratio at the same time, then verified the combination scheme by simulation, so as to prove the rationality of optimum gating system scheme. The design controls the generation of the shrinkage deformation, improves product quality, provides reference for mould design.

Key words: injection molding; gating system; orthogonal design; warpage; integral balance method

浇注系统是注塑成型过程中保证制件质量的关键因素之一。浇注系统的主要组成包括主流道、流道和浇口,其中尤以浇口的设计最为重要,它是影响熔融塑料的流动、制件的收缩和最终尺寸稳定性的最重要因素^[1]。为了研究浇注系统对产品质量的影响规律,以设计最佳的浇注系统方案,选用塑料花盆为研究对象,结合正交试验法,借助Moldflow的分析功能来研究注塑件结构、浇口尺寸和浇口数量对产品质量的影响,找寻最优方案,以此来指导模具生产设计。

1 模型及浇注系统的设计

1.1 花盆件模型的结构分析及建模

本文选用某塑料花盆为研究对象,花盆作为装饰品其质量和美观性一定要好,塑料花盆的结构较为简单,一般只包含一些小的圆角和圆孔,这些结构对制件的质量影响不大,相比之下,花盆壁厚的选用显得更为重要,在注塑过程中,由于冷凝层的存在,越薄的制品填充越困难,壁上剪切应力越大,顶出时易变形;反之,壁厚越厚越易充填,但由于制品过厚导致制品完全冷

收稿日期:2015-10-18;修回日期:2015-11-20

作者简介:邓召旭(1991),男,山东济宁人,硕士研究生,主要研究方向为数字化设计与制造。E-mail:1119616253@qq.com

却时的时间也相应变长,且由于冷却跨度变大,冷却时易导致冷却不均使变形增大,所以壁厚过大或过小都会对产品的生产产生不利的影响,合理地选择壁厚十分重要,根据经验暂选 0.8、1.0、1.2 mm 3 种壁厚,并研究不同壁厚对制品质量的影响。

在三维绘图软件 Pro/E 中建立花盆模型,如图 1 所示,三维尺寸为:上端直径为 98 mm,下端直径为 70 mm,高 110 mm,壁厚为上述所选的 3 种情况。

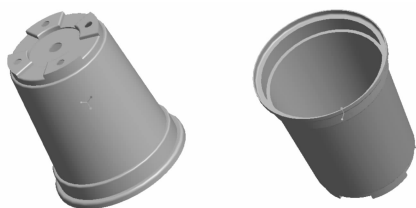


图 1 塑料花盆件模型

Figure 1 Plastic flowerpot model in Pro/E

1.2 浇注系统设计

花盆作为一种装饰品,对美观性必然有一定的要求,在可视范围内不应有浇口痕迹,所以浇口位置一般设置在花盆底部。对每种壁厚的塑件均设计 3 种不同的浇注系统方案,都为点浇口进胶,将浇口等距设置在底部中心圆孔的四周,浇口数量依次为 2~4 个。设置好的浇口位置和数量分布如图 2 所示。

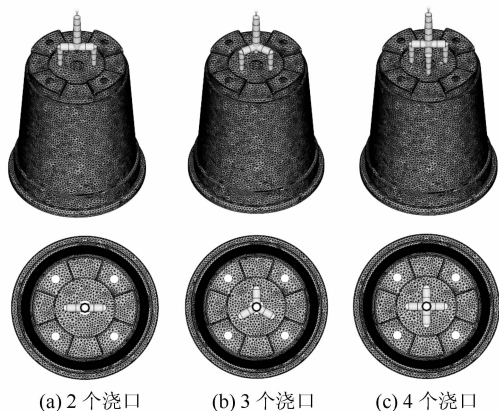


图 2 浇口位置及浇口数量

Figure 2 Gate position and gate number

由于浇口的设计在浇注系统中最为重要,所以选择浇口尺寸作为主要研究对象,分析不同的浇口尺寸及个数对产品质量的影响。其它结构(如分流道、主流道)的设置均相同。点浇口尺寸大小的设计包括浇口的直径和高度(即浇口厚度),点浇口直径的常用值为 $\varnothing 0.5 \sim \varnothing 1.8$ mm,高度一般在 0.5~2.0 mm 之间。此外,在流道部分的设计中,主流道根部直径一定比分流道直径大,分流道比次流道直径大,一般直径差在

10%~20%,且主流道的长度应越短越好,主要参数的设置归纳如表 1 所示。

表 1 浇注系统结构尺寸

Table 1 Structure size of gating system

结构	直径/mm	长度/mm
点浇口	0.8/1.2/1.4	1.0/1.5/2.0
竖直分流道	始端 5.0/末端 3.5	18.0
水平分流道	6.0	12.0
主流道	始端 5.0/末端 7.0	30.0

2 工艺条件的选用及试验设计

2.1 材料与工艺参数的选用

材料选用制作花盆时常用的 PP,这种材料质软,柔韧性好,薄件不易碎、断,虽然综合性能不如 ABS 材料,但价格较 ABS 便宜许多。故在模拟时就选用软件默认的 PP 材料,其主要特性如表 2 所示。

表 2 PP 材料属性

Table 2 Process parameters of PP

固体密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	熔体密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	热变形温度/ $^{\circ}\text{C}$
0.894 17	0.737 54	131
最大剪切应力/MPa	最大剪切速率/ s^{-1}	顶出温度/ $^{\circ}\text{C}$
0.25	100 000	124

在 Moldflow 中模拟注塑过程时,每种方案选用的工艺参数均相同,工艺参数的选用如表 3 所示^[2-4],再按照此参数对花盆件选用“冷却+填充+保压+翘曲”的分析序列进行成型过程的收缩分析。此外,各方案中冷却系统的设置也相同,即使用 25 $^{\circ}\text{C}$ 的纯水进行冷却,持续时间为 15 s,冷却结束后进行开模取件。

表 3 原始工艺参数

Table 3 Original process parameters

因素	模具温度/ $^{\circ}\text{C}$	熔体温度/ $^{\circ}\text{C}$	注射时间/s	保压压力/MPa	保压时间/s
数值	50	220	1	60	10

2.2 试验方案设计

根据制件主体壁厚 A、浇口直径 B、浇口高度 C、浇口个数 D 4 种因素进行试验设计,各取 3 个不同的水平,如表 4 所示,再根据正交试验法选用正交表 $L_9(3^4)$ 安排试验设计。

表 4 试验因素及水平

Table 4 Factors and levels selected in the experiment

水平	试验因素			
	A/mm	B/mm	C/mm	D/个
1	0.8	0.8	1.0	2
2	1.0	1.2	1.5	3
3	1.2	1.6	2.0	4

3 试验结果分析

3.1 翘曲变形分析

翘曲变形的正交试验结果如表5所示。

表5 翘曲变形试验结果

Table 5 Experiment results of warpage

试验号	因素				翘曲/mm
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	0.637 9
2	1	2	2	2	0.592 1
3	1	3	3	3	0.644 8
4	2	1	2	3	0.511 7
5	2	2	3	1	0.509 4
6	2	3	1	2	0.482 4
7	3	1	3	2	0.424 2
8	3	2	1	3	0.398 3
9	3	3	2	1	0.406 9

表6 翘曲变形极差分析结果

Table 6 Range analysis results of warpage

因素	K_1	K_2	K_3	k_1	k_2	k_3	R
主体壁厚 A	1.874 8	1.503 5	1.229 4	0.624 9	0.501 2	0.409 8	0.215 1
浇口直径 B	1.573 8	1.499 8	1.534 1	0.524 6	0.499 9	0.511 4	0.024 7
浇口高度 C	1.518 6	1.510 7	1.578 4	0.506 2	0.503 6	0.526 1	0.022 5
浇口个数 D	1.554 2	1.498 7	1.554 8	0.518 1	0.499 6	0.518 3	0.018 7

从浇口直径和浇口高度的极差值来看,两者对于翘曲变形的影响程度相近,翘曲变形变化不大且无规律,这是因为大尺寸浇口虽有利于物料和压力的传递,但对小型注塑件,过大的浇口尺寸增加了流程,使得注射速率减小,同时增加了流动阻力,使得塑件的翘曲变形增加^[5],故点浇口的尺寸要视具体情况而定。

随着浇口个数的增加,翘曲变形先减后增,说明并不是浇口越多越好,当浇口个数为3时翘曲量最优。

综上所述,结合极差分析结果得出翘曲变形最优时的参数组合为 $A_3B_2C_2D_2$ 。

3.2 体积收缩率分析

正交试验中体积收缩率的结果如表7所示,用相同的方法对体积收缩率求极差,计算结果如表8所示。

从极差值来看各因素对体积收缩率影响的显著程度与对翘曲变形影响的次序相同,也为壁厚>浇口直径>浇口高度>浇口数目,极差值分别为1.35%,1.07%,1.03%和0.95%。

结果显示,随着壁厚的增加,体积收缩率并未呈现单调增长的规律,壁厚为0.8 mm时最小,说明壁厚较小时对注塑件的收缩有利。

以翘曲变形为评价指标,计算各因素的极差值,以极差值的大小来分析各因素影响的显著程度并确定最优组合,翘曲变形的极差分析结果如表6所示,其中 K_i 为该因素在 i 水平下翘曲变形的总和, k_i 为其均值, R 为极差。

从表6所列出的结果中可知,注塑件壁厚变化引起的翘曲变形极差值最大,达到了0.215 1 mm,浇口直径次之为0.024 7 mm,紧接着为浇口高度和浇口个数,引起的极差值分别为0.022 5 mm和0.018 7 mm。

以上结果说明壁厚变化对翘曲变形的影响最为显著,且随着壁厚的增大,翘曲变形逐渐减小,当壁厚为1.2 mm时引起翘曲最小,说明在该花盆注塑件中,大的壁厚克服了冷凝层带来的充填阻力,使整体产生的变形更小,也即在该花盆的成型过程中由充填困难引起的应力过大导致的变形是影响翘曲的主要因素。

表7 体积收缩率试验结果

Table 7 Experiment results of volume shrinkage

试验号	因素				体积收缩率/%
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	13.59
2	1	2	2	2	13.47
3	1	3	3	3	14.08
4	2	1	2	3	15.46
5	2	2	3	1	14.90
6	2	3	1	2	14.82
7	3	1	3	2	15.91
8	3	2	1	3	13.97
9	3	3	2	1	12.85

表8 体积收缩率极差分析结果

Table 8 Range analysis results of volume shrinkage

因素	K_1	K_2	K_3	k_1	k_2	k_3	R
主体壁厚 A	41.14	45.18	42.73	13.71	15.06	14.24	1.35
浇口直径 B	44.96	42.34	41.75	14.99	14.11	13.92	1.07
浇口高度 C	42.38	41.78	44.89	14.13	13.93	14.96	1.03
浇口个数 D	41.34	44.20	43.51	13.78	14.73	14.50	0.95

同样的,浇口直径和浇口高度的极差值相差不大,说明它们对体积收缩率影响程度相近,但是体积收缩率随着浇口直径的增大是呈现出下降趋势的,而随着浇口高度的增加,体积收缩率先减后增,说明浇口高度不是越大越好,体积收缩率最优时的浇口直径为 1.6 mm,浇口高度为 1.5 mm。

在本试验中浇口个数对体积收缩率的影响最小,且当浇口为 2 个时体积收缩率最小,说明降低浇口数目可以在一定程度上减小收缩。

综上所述,结合极差分析结果得出体积收缩率最优时的参数组合为 $A_1B_3C_2D_1$ 。

4 多目标综合平衡法的应用

综合平衡法是先对每个指标分别进行单指标的直观分析,进而得到每个指标的影响因素主次顺序和最佳水平组合,然后对各指标的分析结果进行综合比较和分析,得出较优方案^[6]。

从分析结果中我们可知 4 种因素对于翘曲变形和体积收缩率影响的主次顺序均为壁厚>浇口直径>浇口高度>浇口数目,翘曲变形的最优组合为 $A_3B_2C_2D_2$,体积收缩率的最优组合为 $A_1B_3C_2D_1$,两者的最优组合不同,这就要采用多目标综合平衡法来确定一个最优的参数组合,使得 2 种评价指标同时达到较优的水平^[7-10]。

首先,壁厚对于 2 种评价指标的影响均为最高,但是从表 6 和表 8 的极差值中可看出,壁厚对于翘曲变形影响的显著程度明显要高于体积收缩率,而在以体积收缩率为研究目标的试验中,壁厚最佳的第 1 种方案只比第 3 种方案提高了 0.53%,效果不明显,故对于壁厚选择对翘曲变形最优的第 3 种方案,即 A_3 。

从极差值大小变化的程度来看,浇口直径对于体积收缩率造成的影响较大,当选用方案 3 时最小,但对于翘曲,方案 2 时最好,但方案 3 的翘曲量仅次于方案 2,且两者相差仅为 0.011 5 mm,故选用第 3 种方案,即 B_3 。

对于浇口高度,试验中翘曲和体积收缩率最小时均为第 2 种方案,故直接选用第 2 种方案,即 C_2 。

翘曲和体积收缩率最佳时浇口的数量分别为 3 个和 2 个,但对于体积收缩率,浇口个数为 2 时最小,为 3 时最大,而对于翘曲而言 2 种情况下极值相差不大仅为 0.018 5 mm,根据影响的显著度差异选用 2 个浇口作为最佳方案,即 D_1 。

故终选的最优组合为 $A_3B_3C_2D_1$,具体数值见表 9。

表 9 最优组合

Table 9 Optimal combination

因素	壁厚/mm	浇口直径/mm	浇口高度/mm	浇口数量/个
数值	1.2	1.6	1.5	2

该最优组合恰好为正交试验的第 9 次方案,由表 5 及表 7 中的结果可知,当选用因子组合为 $A_3B_3C_2D_1$ 时的翘曲为 0.406 9 mm,仅次于试验 8 中的最小翘曲量 0.398 3 mm,两者仅相差了 0.008 6 mm,而体积收缩率更是整个试验中的最小值,不论是翘曲还是体积收缩率都达到了近乎最优的效果,这也证明了通过多目标综合平衡法得出的最优参数组合的合理性,图 3 为试验 9 所得的翘曲和体积收缩率的结果图。

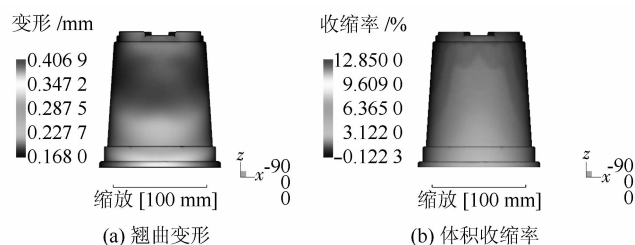


图 3 最优组合下的翘曲变形和体积收缩率

Figure 3 Warpage and volume shrinkage under the optimal combination

5 结语

1) 以翘曲变形和体积收缩率为评价指标,以壁厚、浇口直径、浇口高度和浇口数量为因子各取 3 个水平,结合正交试验法和极差分析法,对每个指标分别进行了优化分析,得出单个目标下的最优因素组合。

2) 借助综合平衡法,通过对比不同因子对 2 种指标的影响程度的显著性,找出同时使翘曲变形和体积收缩率都较优的因素组合 $A_3B_3C_2D_1$ 。在该组合下模拟的结果显示,体积收缩率在整个正交试验中为最优,翘曲也只比最小值相差了 0.011 5 mm,证明了通过综合平衡法选择的参数的合理性,较好地控制了收缩变形的产生,使产品质量得到了一定改善,为模具设计提供了参考。

参考文献:

- [1] 陈乐平. 浇口设计对注塑件翘曲变形的影响分析[J]. 轻工机械, 2012, 30(4): 22-24.
- [2] 陈吉平, 丁智平. 注塑件翘曲变形分析与成型工艺参数优化[J]. 工程塑料应用, 2013, 41(5): 46-49.
- [3] 林权. 基于综合平衡法的注塑工艺参数多目标优化设计[J]. 塑料科技, 2011, 39(1): 84-88.

(下转第 71 页)