

# 基于正交实验的旋盖产品成型工艺参数优化设计<sup>\*</sup>

贺华波

(宁波大学工学院, 宁波 315211)

**摘要** 采用正交实验法和 Moldflow 仿真模拟实验相结合, 对一旋盖产品的表面缩痕作了多成型工艺参数综合影响分析, 用较少次数的仿真实验, 获得了能基本反映全面情况的实验资料, 并研究不同成型工艺参数对注塑过程产品表面缩痕的影响程度, 进而得到一组优化的成型工艺参数, 避免了各因素单独分析的片面性, 有效地解决了以往成型工艺参数设置不合理的现象。据此进行模具设计, 可加快模具开发进度, 进而缩短产品开发周期, 提高企业的产品质量和竞争能力。

**关键词** Moldflow 正交实验 缩痕 最小化 工艺参数

塑料产品从设计到生产是一个十分复杂的过程, 包括塑料产品设计、模具结构设计、模具加工制造和产品注射成型等几个阶段, 需要产品设计师、模具设计师、模具加工工艺师及熟练操作工人一起协同来完成, 是一个设计、修改、再设计的反复迭代、不断优化完善的过程。当今的注射成型产品越来越精密、复杂, 对产品的形状和尺寸精度要求也越来越高, 这就对产品设计人员、模具设计人员提出了更高的要求。传统的手工设计、制造已越来越难以满足激烈竞争的市场需要。

计算机技术的运用, 正在各方面取代传统的手工设计方式, 并取得了显著的经济效益。运用 CAE 软件 Moldflow, 用户可以在计算机上模拟整个注射成型的过程, 准确预测熔体的填充、保压和冷却情况, 以及产品的缩痕、熔接痕和翘曲变形等缺陷情况<sup>[1]</sup>, 以便及时发现问题, 进而修改产品和模具设计, 从而降低产品制造成本和缩短新产品投放市场的周期。笔者采用正交实验法和 Moldflow 仿真模拟实验相结合, 研究不同成型工艺参数对旋盖产品表面缩痕的影响程度, 进而得到一组优化的成型工艺参数。

## 1 基于 Moldflow 的注射成型模拟

Moldflow 软件的 MPI/Flow 模块将注射成型从产品、模具的设计到工艺参数的确定结合为一体, 具体分析过程如下<sup>[2-3]</sup>。

### 1.1 几何建模

为计算充模阶段, 必须给出一个求解区域。一个求解区域就是被确定的一个空间范围, 在这个空间范围内建立数学模型并求解。可在 Moldflow 软件内建模也可通过软件的输入接口输入其它软件的模式文件。

### 1.2 网格划分

Moldflow 软件能根据几何模型自动地生成网格。只需输入模型划分网格总数, 系统就能自动地进行划分。

### 1.3 浇口位置及数量的确定

Moldflow 软件可以根据模型几何形状及相关材料参数、工艺参数分析出浇口的最佳位置。用户可以在设置浇口位置之前进行浇口位置分析, 根据这个分析结果设置浇口位置, 从而避免由于浇口位置设置不当可能引起的产品缺陷。

### 1.4 材料及工艺参数设置

在进行分析之前, 必须指定材料, 并根据软件推荐的工艺参数进行相应设置。

## 2 成型工艺参数优化设计

### 2.1 最优浇口位置分析

本次分析的产品为旋盖, 首先输入该产品的 STL 模型, 并在 MPI 环境中根据几何模型自动地生成 Fusion 网格模型。设置分析类型为 Gate Location, 选择 Chi Mei 公司的 Polyac PA-737(丙烯腈/丁二烯/苯乙烯)共聚物(ABS)材料, 并采用系统推荐的工艺过程参数设置。Moldflow 软件对该产品的最佳浇口位置分析结果如图 1 所示。

根据图 1 浇口位置分析结果并结合实际模具结构设计的合理性, 笔者选择将浇口位置设置在图 1 中左侧画圈区域进行流动分析。

### 2.2 表面缩痕位置分析

采用图 1 所示的浇口后, 选用系统推荐的各项成型工艺参数进行流动模拟分析的表面缩痕指数分布如图 2 所示。从图 2 可以看出, 在产品的外表面

<sup>\*</sup> 浙江省教育厅科研计划资助项目(20070955)

收稿日期: 2009-01-10

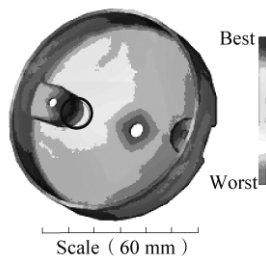


图1 Moldflow 浇口位置分析结果

一侧(画圈处)会产生明显的缩痕,而产品其它表面的缩痕不明显。

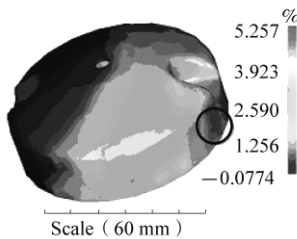


图2 Moldflow 软件缩痕指数分析结果

2.3 正交仿真实验

(1) 实验指标的确定

缩痕是薄壁塑料产品注射成型中常见的缺陷之一,不同材料、不同形状的注塑产品表面缩痕规律差别很大。注塑产品表面缩痕的存在会影响产品的外观质量进而影响产品的综合性能,缩痕作为影响注塑产品表面质量的重要指标之一,其研究极具工程实用价值。笔者定义产品外表面关键部位的缩痕指数为考察指标。在Moldflow软件中缩痕指数表示的是产品实际缩痕深度与其对应位置厚度的比值。缩痕指数越大也就意味着产品对应位置成型后产生缩痕的深度就会越大。

(2) 设计变量及其取值范围的确定

在工艺参数优化设计中,设计变量的取值范围相当重要。因为这不仅关系到所选参数范围是否包含最优解或次优解,也影响到优化过程的搜索效率<sup>[4]</sup>。根据Moldflow软件的系统推荐值结合实际情况,笔者采用以下设计变量及其取值范围。

- ①熔体温度  $T_1$ , 根据 Moldflow 软件的推荐值, 确定熔体温度的范围为 200 ~240℃。
- ②模具温度  $T_2$ , 根据 Moldflow 软件的推荐值, 确定模具温度的范围为 50 ~70℃。
- ③注射时间  $t_1$ , 根据实际情况和模拟分析, 确定注射时间的范围为 0.5 ~2.5 s。
- ④保压时间  $t_2$ , 根据实际情况和模拟分析, 确定保压时间的范围为 5 ~25 s。

⑤冷却时间  $t_3$ , 根据实际情况和模拟分析, 确定冷却时间的范围为 10 ~50 s。

注塑压力、保压压力和锁模力均采用系统默认值设置。

(3) 确定影响缩痕指数的因素和水平

根据实际经验和模拟分析, 确定影响塑料产品注射成型后表面缩痕的主要因素为: 熔体温度、模具温度、注射时间、保压时间和冷却时间。为了便于叙述, 将它们依次简称为因素 A、B、C、D 和 E(下同), 并假设各因素之间不存在交互作用。在各因素的取值范围内, 均匀地取 5 个水平, 如表 1 所示。

表 1 正交实验的因素及水平

| 水平 | 因 素                        |                            |                      |                      |                      |
|----|----------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|    | (A) $T_1 / ^\circ\text{C}$ | (B) $T_2 / ^\circ\text{C}$ | (C) $t_1 / \text{s}$ | (D) $t_2 / \text{s}$ | (E) $t_3 / \text{s}$ |
| 1  | 200                        | 50                         | 0.5                  | 5                    | 10                   |
| 2  | 210                        | 55                         | 1.0                  | 10                   | 20                   |
| 3  | 220                        | 60                         | 1.5                  | 15                   | 30                   |
| 4  | 230                        | 65                         | 2.0                  | 20                   | 40                   |
| 5  | 240                        | 70                         | 2.5                  | 25                   | 50                   |

(4) 正交表选用<sup>[5]</sup>

本次正交实验为 5 因素 5 水平的实验, 如果对所有不同组合进行实验需要 5<sup>5</sup> 种不同的实验, 这显然是比较困难的。而采用正交实验法, 恰当地选择实验方案, 只需要进行 25 次实验。根据正交表的设计结合本次分析的各设计变量的取值范围设计出各组仿真实验的参数, 并运用 Moldflow 软件分析出对应的产品一端表面处最大缩痕指数, 如表 2 所示。

2.4 成型工艺参数对缩痕指数的影响分析

利用正交表安排 25 次实验的目的是为了找到哪个成型工艺参数对表面缩痕指数的影响最大, 以及各个成型工艺参数对缩痕指数影响程度的顺序, 最后得出最佳的参数组合。各个成型工艺参数对缩痕指数的影响数据分析如表 3 所示。表 3 中  $K_i = \sum_{j=1}^5 (1/5) S_{ij}$ ,  $S_{ij}$  是指某个因素第  $i$  水平的缩痕指数值, 共 5 个。 $K_i$  表示某个因素第  $i$  水平的缩痕指数平均值。为找出各因素对缩痕指数的影响程度, 对正交实验结果进行极差分析。极差值  $R$  越大, 说明该因素对缩痕指数的影响程度越大, 各因素的极差值分析结果见表 3。由极差分析结果可以看出, 对该旋盖产品表面缩痕指数影响最大的成型工艺参数为注射时间, 其它因素的影响程度大小依次为熔体温度、模具温度、冷却时间和保压时间。参照表 3, 根据成型要求, 产品表面的缩痕越小越好, 可以得到各因素的优化组合为  $A_1 B_3 C_5 D_2 E_2$ 。

表 2 仿真实验数据

| 实验<br>组号 | 因 素                           |                               |                         |                         |                         | 缩痕<br>指数/% |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
|          | (A)<br>$T_1 / ^\circ\text{C}$ | (B)<br>$T_2 / ^\circ\text{C}$ | (C)<br>$t_1 / \text{s}$ | (D)<br>$t_2 / \text{s}$ | (E)<br>$t_3 / \text{s}$ |            |
| 1        | 200                           | 50                            | 0.5                     | 5                       | 10                      | 4.94       |
| 2        | 200                           | 55                            | 1.0                     | 10                      | 20                      | 19.17      |
| 3        | 200                           | 60                            | 1.5                     | 15                      | 30                      | 1.1        |
| 4        | 200                           | 65                            | 2.0                     | 20                      | 40                      | 20.09      |
| 5        | 200                           | 70                            | 2.5                     | 25                      | 50                      | 8.98       |
| 6        | 210                           | 50                            | 1.0                     | 15                      | 40                      | 36.85      |
| 7        | 210                           | 55                            | 1.5                     | 20                      | 50                      | 16.62      |
| 8        | 210                           | 60                            | 2.0                     | 25                      | 10                      | 5.09       |
| 9        | 210                           | 65                            | 2.5                     | 5                       | 20                      | 8.04       |
| 10       | 210                           | 70                            | 0.5                     | 10                      | 30                      | 6.83       |
| 11       | 220                           | 50                            | 1.5                     | 25                      | 20                      | 6.08       |
| 12       | 220                           | 55                            | 2.0                     | 5                       | 30                      | 13.44      |
| 13       | 220                           | 60                            | 2.5                     | 10                      | 40                      | 3.58       |
| 14       | 220                           | 65                            | 0.5                     | 15                      | 50                      | 12.43      |
| 15       | 220                           | 70                            | 1.0                     | 20                      | 10                      | 24.11      |
| 16       | 230                           | 50                            | 2.0                     | 10                      | 50                      | 1.22       |
| 17       | 230                           | 55                            | 2.5                     | 15                      | 10                      | 11.36      |
| 18       | 230                           | 60                            | 0.5                     | 20                      | 20                      | 6.88       |
| 19       | 230                           | 65                            | 1.0                     | 25                      | 30                      | 54.31      |
| 20       | 230                           | 70                            | 1.5                     | 5                       | 40                      | 1.38       |
| 21       | 240                           | 50                            | 2.5                     | 20                      | 30                      | 4.16       |
| 22       | 240                           | 55                            | 0.5                     | 25                      | 40                      | 50.19      |
| 23       | 240                           | 60                            | 1.0                     | 5                       | 50                      | 44.12      |
| 24       | 240                           | 65                            | 1.5                     | 10                      | 10                      | 41.44      |
| 25       | 240                           | 70                            | 2.0                     | 15                      | 20                      | 10.30      |

表 3 工艺参数对缩痕指数的影响数据分析

| 指标<br>均值 | 因 素  |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|
|          | A    | B    | C    | D    | E    |
| $K_1$    | 10.9 | 10.7 | 16.3 | 14.4 | 17.4 |
| $K_2$    | 14.7 | 22.2 | 35.7 | 14.3 | 10.1 |
| $K_3$    | 11.9 | 12.2 | 13.3 | 14.4 | 16.0 |
| $K_4$    | 15.0 | 27.3 | 10.0 | 14.5 | 22.4 |
| $K_5$    | 30.0 | 10.3 | 7.2  | 24.9 | 16.7 |
| $R$      | 19.1 | 17   | 28.5 | 10.6 | 12.3 |
| 排序       | 2    | 3    | 1    | 5    | 4    |

2.5 优化结果检验

当工艺参数组合为  $A_1B_5C_5D_2E_2$ , 即熔体温度  $200^\circ\text{C}$ 、模具温度  $70^\circ\text{C}$ 、注射时间  $2.5\text{ s}$ 、保压时间  $10\text{ s}$ 、冷却时间  $20\text{ s}$  时, 采用 Moldflow 软件进行产品注

射成型模拟, 得到的旋盖产品图 2 圆圈处最大缩痕指数为 0.89, 相对表 2 中的各仿真实验结果要好。可以认为该成型工艺为比较合理的基于表面缩痕最小的成型工艺参数。

2.6 实际应用

在实际模具设计中, 可以首先根据以上介绍的方法利用 Moldflow 软件进行浇口的优化设计, 确定好合理的浇口位置后再进行模具结构设计。根据模具结构设计制造出相应的模具后再利用上述优化得出的成型工艺参数在注塑机上成型出相应的塑料产品。这样可大大减少甚至避免模具返修报废, 提高产品质量, 降低生产成本。

3 结论

采用正交实验法和 Moldflow 仿真模拟实验相结合, 对一旋盖产品的表面缩痕作了多成型工艺参数综合影响分析。用较少次数的仿真实验, 获得了能基本反映全面情况的实验资料, 并研究不同成型工艺参数对注塑过程产品表面缩痕的影响程度, 进而得到一组优化的成型工艺参数, 避免了各因素单独分析的片面性, 有效地解决了以往成型工艺参数设置不合理的现象, 并可减少传统的试模次数, 降低试模的费用, 从而有效地降低了成本。这不仅是对传统模具设计制造方法的一次突破, 而且对减少甚至避免模具返修报废、提高产品质量、降低企业生产成本等, 都有着重大的技术经济意义。

参考文献

[1] 余卫东, 陈建. Moldflow 技术在注塑成型过程中的应用[J]. 软件世界, 2001(6): 59-61.  
[2] 贺华波, 李红林, 邓益民. Moldflow 在电话听筒上盖零件注塑成型中的应用[J]. 轻工机械, 2006, 24(2): 38-40.  
[3] 钟皓东, 徐灵杰. 基于 Moldflow 流动分析的薄壁注塑件成型工艺设计[J]. 塑料工业, 2005, 33(11): 32-35.  
[4] 陈晓平, 胡如夫. 显示器前壳注塑仿真成型工艺参数的优化[J]. 轻工机械, 2007, 25(5): 23-26.  
[5] 仲高艳, 康敏. 基于 BP 神经网络的数控超声加工性能研究[J]. 电加工与模具, 2007(4): 37-40.

DESIGN OPTIMIZATION OF TURNING LID MOLDING PROCESSING PARAMETERS  
BASED ON THE ORTHOGONAL EXPERIMENTS

He Huabo

( Faculty of Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

**ABSTRACT** By the combination of orthogonal experiments and moldflow simulation tests, the surface shrink marks of a turning lid under the combined effects of multi-molding process parameters are analysed. By using fewer number of simulation test, the experiment data which can basically reflect the overall situation are obtained. In addition, the effects degree of different molding process parameters for surface shrink marks are researched, and the optimized parameter combination is obtained. The one-sidedness of individual

analysis of the various factors is avoided and the unreasonable appearance of process parameter settings are solved. With the help of results, the mold developing schedule is accelerated, the cycle of product development is shortened, and the quality of products and the competitive ability of enterprise is improved.

**KEYWORDS** moldflow, orthogonal experiment, shrink marks, minimization, process parameters

## 家电业对聚氨酯需求仍将稳中有升

来自中国家用电器协会的分析表明, 2008 年家电业尽管面临国内外的严峻的经济形势, 但家电业总体仍会稳定在较大的生产规模, 对大宗原材料包括聚氨酯的需求基本平稳, 并在未来呈现微弱上升的趋势。

从全球的经济环境来看, 2009 年的经济形势将更为严峻, 但从各种数据分析来看, 中国的全球家电大国的地位依然稳固, 与其他家电生产国相比, 全球对中国的信心并未动摇。国内新兴市场的开拓将为家电及家电的相关原料带来成长机遇。

家电协会信息咨询部副部长胡晓红表示, 随着国内市场对于节能环保标准的提高, 家电能效标准升级将向两个方向发展, 一是对高效压缩机的需求, 二是对聚氨酯绝热层的需求。

(中塑网)

## 医用 PVC 材料中 DEHP 增塑剂的最新进展

聚氯乙烯(PVC)类材料在医疗设备中有着广泛的应用, 主要原因在于 PVC 类材料本身具有良好的物理性质。具体而言, 这些物理性质包括: PVC 材料制造的方便性、以及这类材料与静脉注射液和血液之间良好的相容性。在医疗护理方面, 例如静脉注射液袋、静脉注射管、人工肾结缔组织导管、鼓泡型氧合器、以及灌肠剂引流袋和导尿引流袋等通常所使用的 PVC 类产品中都含有邻苯二甲酸二己酯(DEHP)增塑剂。DEHP 作为最经济有效并且广泛使用的增塑剂之一, 它的作用在于使 PVC 具有柔软性和易弯曲性, 并增加了 PVC 产品的弹性。自从于 1950 年将 DEHP 增塑剂投放到医药应用领域中以后, DEHP 就成为了其它多种医疗设备中所主要使用的增塑剂。使用 DEHP 增塑剂的医疗设备包括: 心导管、气管插管、以及某些植入型心脏瓣膜及设备。

使用 PVC 所制成的医疗产品最初是用来替代天然橡胶和玻璃在医疗设备中的使用。替代的原因在于: 增塑 PVC 类材料具有更易杀菌、更加透明的特点, 并且具有更好的化学稳定性和经济有效性。增塑 PVC 类产品使用方便, 并且由于其自身具有柔软性和弹性, 因而可以避免对病人敏感的组织造成损伤并避免使病人产生不舒适感。更进一步而言, 增塑 PVC 类产品可以通过有效防止血液凝结而改善全血的收集, 并且扩大了血液处理的可选择范围。

可消毒型增塑 PVC 医用管和导尿管不会发生“打结”现象, 因此可以确保流体发生不间断的流动。这一特点不论在婴儿救治方面还是心内手术病人救治方面都显得非常重要。增塑 PVC 的透明性还可以减少失误的发生, 当流体流动减慢或者流动受阻时, 医护人员可以迅速发现并进行处理。与此同时, 增塑 PVC 管的内表面光滑, 可以防止血液凝结或者

发生其它破坏。另外, 标签也可以直接印刷在增塑 PVC 表面而不会发生磨损, 从而使增塑 PVC 具有了额外的安全特性。

(中塑网)

## PET 瓶吹塑应注意技术细节

PET 瓶吹瓶流程是一个双向拉伸的过程, 在此过程中, PET 分子链呈双向延伸、取向和排列, 从而增加了瓶壁的力学性能, 提高了拉伸、抗冲击强度, 并有很好的气密性。虽然拉伸有助于提高强度, 但也不能过分拉伸, 要控制好拉伸吹胀比: 径向不要超过 3.5 ~4.2, 轴向不要超过 2.8 ~3.1。瓶坯的壁厚不要超过 4.5 mm。

吹瓶是在玻璃化温度和结晶温度之间进行的, 一般控制在 90 ~120℃之间。在此温度区间 PET 表现为高弹态, 快速吹塑、冷却定型后成为透明的瓶子。在一步法中, 此温度是由注塑过程中的冷却时间长短决定的, 所以要衔接好注和吹两工位的关系。

吹塑过程中有拉伸→一次吹→二次吹, 三个动作的时间很短, 但一定要配合好, 特别是前两步决定了料的总体分布和吹瓶质量的好坏。因此要调节好拉伸起始时机、拉伸速度、预吹起始和结束时机、预吹气压力、预吹气流量等, 如有可能, 最好能控制瓶坯总体的温度分布, 瓶坯内外壁的温度梯度。

在快速吹塑、冷却过程中, 瓶壁内有诱导应力产生, 对充气饮料瓶来说, 它可抗内压, 有好处, 但对热灌装瓶来说就要保证在玻璃化温度以上让它充分释放。

(中塑网)

## 陶氏使用环保发泡剂生产保温材料

陶氏化学公司宣布已经成功地实现了第一家制造舒泰龙™(STYROFOAM™)品牌隔热材料工厂的转产。该厂位于美国乔治亚州道尔顿, 已成功的运用其新型零臭氧消耗、无有机挥发物发泡剂工艺进行生产。陶氏道尔顿生产厂预计在 3 月底可实现发货, 而其它工厂也将在今年陆续实现转产。因此陶氏取得了在蒙特利尔议定书规定的最后期限之前完成转产的有利位置。

蒙特利尔议定书规定, 要在 2010 年 1 月 1 日前逐步淘汰破坏臭氧层的氢氯氟烃(HCFC) 142b 化合物。陶氏早在蒙特利尔议定书和美国环保署指导方针公布之前就已经着手进行新一代发泡剂工艺的开发, 并已逐步转向工厂投产, 这一切均符合蒙特利尔协定。

陶氏新一代特种工艺使舒泰龙™挤塑聚苯乙烯(XPS)泡沫隔热保温材料的隔热性好, 防潮性及耐压强度和以前相同, 是建筑人员长达 60 年的信任产品, 为建设者设计节能住宅和建筑用硬质泡沫保温材料提供“更绿色”的选择。

(中塑在线)