

研究论文

# 优化带加强筋 ABS 材料制件沉降斑的 气体辅助成型技术

董斌斌, 李 倩, 刘春太, 申长雨

(郑州大学橡塑模具国家工程研究中心, 河南 郑州 450002)

**摘要:** 详细介绍了气体辅助注射成型的物理过程及其关键工艺参数对成型的影响。以带加强筋的绣花机外壳为例, 考察了传统注射成型与气体辅助注射成型的优缺点。针对气体辅助注射引入的新工艺参数, 介绍了一种 CAE 技术与统计学的 Taguchi 正交实验相结合的方法, 设计  $L_9(3^4)$  正交实验表在可成型范围内寻求最优工艺参数。结果表明, 气体辅助技术能减少原料, 对有加强筋的制件能有效地去除沉降斑、减弱不均匀收缩及减少内应力, 大大改善制件的表面质量, 增强制件尺寸的稳定性。

**关键词:** 气体辅助注射成型; 传统注射成型; 工艺参数; 加强筋制件; 沉降斑; 实验设计

中图分类号: TQ 320.66

文献标识码: A

文章编号: 0438-1157 (2007) 01-0255-05

## Optimizing sink marks of ABS part with ribs by gas assisted injection

DONG Binbin, LI Qian, LIU Chuntai, SHEN Changyu

(State Engineering Research Center of Advanced Polymer Process Technology,  
Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, Henan, China)

**Abstract:** Gas assisted injection molding (GAIM), as an innovative molding technique, has received extensive attention in recent years. GAIM can effectively decrease sink marks and volumetric shrinkage of the part, while GAIM is inherently more complex than conventional injection molding. At the same time, it involves many additional process parameters, such as gas delay time, gas pressure and gas injection time. In this study gas channels supplant ribs were used to achieve stable and smooth surface quality. In order to find optimum process parameters of GAIM, the experimental design of the Taguchi method was used to determine the GAIM conditions, and the cases were simulated by using the integrated commercial software packages. All molding conditions and affecting factors were discussed regarding the depth of sink marks of the shell of a machine. The results showed that the gas channels supplant ribs can effectively reduce raw material consumption, eliminate sink marks, diminish differential shrinkage and residual stress, improve finish surface, and enhance stability of part dimension.

**Key words:** gas assisted injection molding; conventional injection molding; parameter; ribs part; sink marks; design of experiment

2005-10-09 收到初稿, 2006-01-23 收到修改稿。

联系人及第一作者: 董斌斌 (1971-), 女, 博士研究生。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (10372095); 河南省科技攻关项目 (424290020)。

Received date: 2005-10-09.

Corresponding author: DONG Binbin, PhD candidate. E-mail: dongbinbin@zzu.edu.cn

Foundation item: supported by the National Natural Science Foundation of China (10372095) and the Henan Tackle Key Problem of Science and Technology (424290020).

## 引 言

塑料气体辅助注射成型 (gas assisted injection molding) 在塑料制品工业上起着越来越重要的作用。由于气体辅助充填和保压这种成型方式允许一个塑料件结构上同时有几种不同的厚度却不会引起太多的残余应力和翘曲, 所生产出的制件表面质量也优于普通的成型方式, 且对注射机的锁模力要求低, 因此, GAIM 使制品的设计和制造较传统的注射成型 (conventional injection molding) 设计和制造更具灵活性, 从而在带有许多加强筋的塑料制品中得到了广泛应用。

本文以绣花机外壳为例, 用商业化 CAE 软件对传统注射成型方式和气体辅助成型方式进行对比, 计算结果表明, 气辅技术能有效地减少制件质量, 降低所需保压压力并很好地改善了制品的表面质量。虽然气辅技术有这些优势, 但其工艺较传统注射工艺复杂, 如增加了预注射量、气体延迟时间、气体压力和气体保压时间这些工艺参数。为了获得一套有效的加工参数, 本文介绍了一种统计学的 Taguchi 正交实验法, 用  $L_9(3^4)$  正交实验表在可成型范围内寻求最优工艺参数。

## 1 气体辅助成型技术

### 1.1 基本原理

GAIM 工艺过程主要包括 5 个阶段<sup>[1]</sup>: 熔体注射、气体注射、气体保压、气体泄压并回收循环使用和开模。一般是首先将塑料熔体注入至型腔体积的 70%~97%, 然后注入高压氮气, 气体通过气口注入型腔内部, 型腔内前沿熔体在高压氮气驱动下向前流动到达整个型腔壁, 接着型腔在保持气体压力情况下冷却。在冷却过程中, 气体由内向外施压, 保证材料外表面紧贴模壁, 并通过气体二次穿透从内部补充因熔体冷却凝固带来的体积收缩。

由此可见, GAIM 成型的基本特性是借着气体在熔体中穿透掏空而起到保压作用, 并填补熔体因冷却收缩的空间<sup>[2-3]</sup>。

### 1.2 基本工艺参数

(1) 材料选择 聚合物皮层厚度受到材料热性能、流变性能和材料熔体流动形态的影响。皮层厚度随所用材料热传导率和黏度的增加而增加, 然而熔体的剪切变稀使皮层厚度减小。故黏度具有剪切变稀现象的材料, 皮层厚度分布较不均匀; 黏度相

对不变的材料则可以得到较为均匀的皮层厚度。

(2) 熔体温度 通常, 较高的熔体温度产生的皮层厚度较薄并且气体一次穿透的距离较短, 同时由于较高的熔体温度导致较长的冷却时间, 产生较大的体积收缩, 从而气体的二次穿透距离大大增加。

(3) 熔体预注射量 气体穿透距离根据熔体预注射量的不同而长短不同。熔体预注射量太多, 气体没有足够的空间穿透; 熔体预注射量太少, 气体很快会赶上熔体前沿, 在熔体完全充满型腔以前吹穿, 造成注射失败; 熔体预注射量控制比较合适时, 气体穿透长度适度并获得充分的保压, 使得中空圆管的皮层厚度分布均匀, 从而得到外观和内在质量都良好的制品。

(4) 气体延迟时间 在熔体冷凝前, 气体延迟时间越长, 气体穿透的距离就越长, 掏空部分的截面面积就越小。这是由于随着延迟时间的增加, 冷冻层和黏性层厚度增加, 并且聚合物流动发生迟滞现象, 从而导致穿透截面积缩小而穿透距离加长。

(5) 气体注射与气体保压压力 气体注射压力越高, 气体穿透的距离越短, 且聚合物皮层厚度越小。这是由于较高的气体压力推动较多的熔体向前, 因而型腔后部堆积了较多的熔体, 造成气体穿透困难, 熔体前部则没有气体穿透。

(6) 气体注射时间 气体前沿前进的速度要高于熔体前沿前进的速度, 因而气体-熔体界面的距离在不断地缩短。气体穿透随气体注射时间的增加而增加直到型腔填满。气体注射时间越长, 可能会导致熔体的吹穿<sup>[4]</sup>。

### 1.3 沉降斑

沉降斑是注射成型制件常见的一种表面质量缺陷。它主要发生在厚度突变的部位, 如加强筋等处, 是由于收缩造成的。虽然沉降斑不会影响到制件的强度, 但非常影响外观质量。去除沉降斑较多的办法是增加保压压力或减少在主外观区的厚度突变; 另外一种办法是利用气体辅助注射技术的特点将加强筋设计为气道, 这样, 一方面能去除沉降斑, 另一方面能发挥气体辅助注射的优势。

## 2 实验设计

### 2.1 传统注射成型设计方案

实验材料用奇美公司生产的 ABS。传统注射成型的制件如图 1 所示, 4 个点浇口。绣花机外壳

的平均厚度为 2.2 mm，几何尺寸为 190 mm×90 mm×110 mm。其底部有 8 条加强筋，厚度为 1.5 mm。实际生产时发生了短射，注射压力不足。然后增加加强筋厚度到 1.8 mm，三周的壁厚增加为 3 mm，底部厚度增加到 2.5 mm。加工工艺参数见表 1。



图 1 传统注射成型的制件

Fig. 1 Part shape for CIM

表 1 传统注射成型加工参数

Table 1 Parameter of CIM

Mold temp. /°C	Injection temp. /°C	Injection time /s	Injection pressure /MPa	Packing pressure /MPa
50	245	2.0	30	30

## 2.2 气体辅助注射成型设计方案

用气道代替加强筋，2 个点浇口，1 个气体入口，外壳的平均厚度设计为 2 mm，与传统的注射成型的外壳相比，厚度下降了 33%，同时制品质量从 238 g 降到 192 g。气体辅助成型的外壳设计如图 2 所示<sup>[5]</sup>。CAE 软件划分出的网格单元为 5566 个。

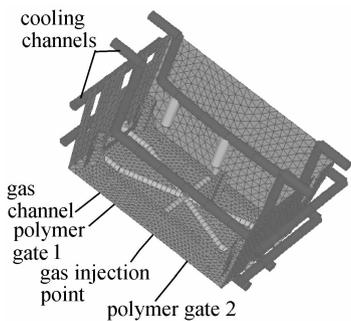


图 2 气体辅助注射成型 CAE 网格模型

Fig. 2 Mesh of GAIM

## 3 DOE 分析

本次研究用  $L_9(3^4)$  正交表<sup>[6]</sup>设计实验。

气辅制件的各因素水平的选择是在传统注射工艺基础上，结合制品本身结构的特点设置了延气时

间、预注射量和气压的水平范围，并且保证在每个实验方案的成型结果都没有大的缺陷，如吹穿现象发生。因素与水平表如表 2 所示。延气时间水平分别为 0、0.4、0.8 s；注射温度分别为 200、230、260℃；预注射量分别为 100%、99%、97%；气压分别为 14、17、20 MPa。将制件总体收缩量最小设为优化目标，并用 S/N 比 (a signal to noise ratio) 来描述收缩量的特性。并将预注射量 0.5% 的波动做为实验噪声引入。

$$\frac{S}{N} = -10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$

式中  $y_i$  为每次实验的总收缩量， $n$  为每个方案的实验次数，本实验中  $n=2$ 。S/N 比越大则表明总收缩量越小。数据处理的方法是直观分析和方差分析<sup>[7-8]</sup>。根据图 3 结果可知，最佳因素的水平为 A1B2C2D1，即注射熔体温度为 230℃，延迟时间为 0 s，预注射量为 98%，气体压力为 14 MPa。

表 2 气体辅助注射成型因素与水平

Table 2 Levels of operating parameter for GAIM

Factors	Level 1	Level 2	Level 3
A-delay time/s	0	0.4	0.8
B-injection temp. /°C	215	230	245
C-polymer shot size/%	99.5	98	96.5
D-gas pressure/MPa	14	17	20

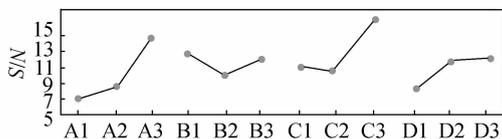


图 3 GAIM 的体收缩的 S/N 比

Fig. 3 S/N ratio for minimization of volumetric in GAIM simulation results

## 4 结果与讨论

对传统注射成型来讲，因为制件厚度不均匀产生了不同的收缩。在制件底部体收缩率从 0.677% 到 3.76% 不等。这么大的差值将导致翘曲变形。对气体辅助注射来讲，底部的加强筋被气道所取代，制件厚度设计均匀，计算出其体收缩率为 0.88%~1.59%，有效地降低了收缩的差异，消除了翘曲变形的隐患。

图 4 为 CIM 浇口处压力时间变化，由图知浇口处最大注射压力为 35 MPa，保压压力需要 30

MPa，同时锁模力需用 75 t。而对于气体辅助注射成型来讲，制件厚度有效地减少了 33%，浇口处的最大注射压力为 47 MPa，气体保压压力只需 14 MPa，同时锁模力需用 98 t，如图 5 所示。

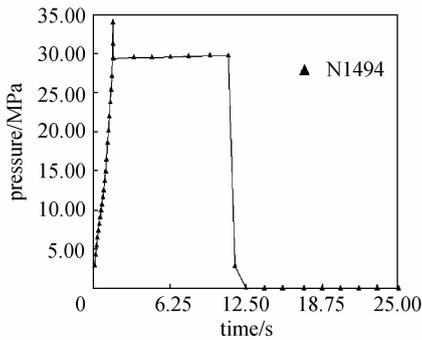


图 4 CIM 的浇口处压力随时间的变化  
Fig. 4 Pressure at injection gate via time for CIM

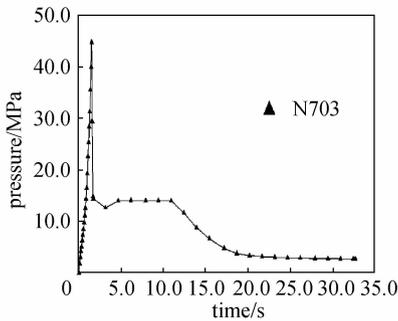


图 5 GAIM 的浇口处压力随时间的变化  
Fig. 5 Pressure at injection gate via time for GAIM

图 6 表明了沉降斑的位置和沉降深度。沉降斑发生在底部有加强筋的地方，大部分沉降深度为 0.08 mm。而沉降深度超过 0.006 mm 就可用肉眼见到了。

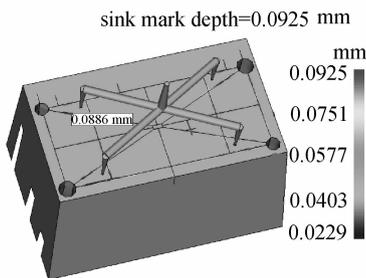


图 6 CIM 的沉降斑位置与深度  
Fig. 6 Location and depth of sink marks

正如前面所讲到的，沉降斑是由于冷却过程制件的收缩引起的。制件底面与加强筋接触的地方厚

度大于其他位置，冷却速率也相对慢于其他与模具接触较大的区域，因此，厚的地方会产生更大的收缩而形成沉降斑。通常，可以考虑下面的办法解决。一是修改产品设计，避免或减少厚度不均匀的产品设计；另外是调整浇口位置到较厚的区域，以确保该区域在冷却之前得到充分的补料和保压；再有是用气道代替加强筋以有效地各向同性地传递保压压力。并且在充填阶段，气道还可起到“导流”的作用。这样做有两个直接的好处，一是既能起到加强制件强度的作用又避免了沉降斑的发生，保证制件表面质量；二是能有效地减少制件质量。

图 7 是气体中空率图，气体中空率表明在气体充填阶段气体进入气道的速率和在气体保压阶段气体补缩的速率。当曲线趋于平直时，表明型腔熔体处于不流动状态。

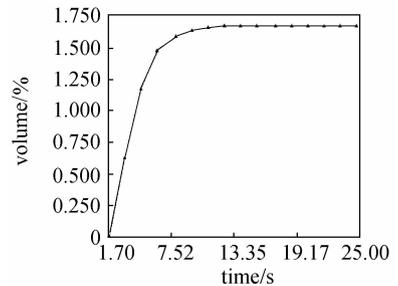


图 7 GAIM 的气体气道中空率与时间的关系  
Fig. 7 Volume percentage of gas in cavity overtime

图 8 皮层厚度图表明了气体在型腔的穿透程度。其值是 1 时表明该处熔体没有气体渗透，小于 1 时表明气体对型腔的中空程度。希望气道的皮层厚度小于 1，且均匀，非气道区域等于 1，没有气体渗透发生所谓“Finger”现象<sup>[9]</sup>，影响制件的整体强度。

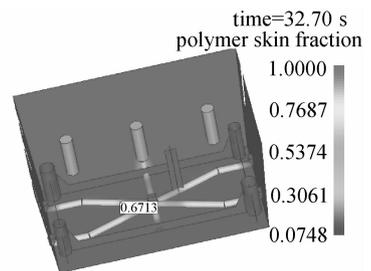


图 8 气道的皮层厚度  
Fig. 8 Extent of gas permeation through part

## 5 结 论

(1) GAIM 成型技术在几个方面表现出了强

于 CIM 的优势: 一是减少原料降低制件质量; 二是对有加强筋的制件能有效地去除沉降斑、减弱不均匀收缩及减少内应力; 三是改善了制件的表面质量, 增强了制件尺寸的稳定性。

(2) GAIM 的气道在熔体充填阶段和保压阶段起到了导流的作用, 增加了制件的可充填性。对复杂薄壁制件能有效地减少浇口数, 从而减轻浇注系统设计的复杂性。

(3) 气体对气道的有效穿透使制件能快速冷却, 有效地减少冷却循环时间。

(4) GAIM 的工艺参数较 CIM 复杂, DOE 分析是一个有效的优化成型工艺参数的方法。

(5) 本文有助于模具工程师更好地了解气体辅助成型技术的优越性。

## References

- [1] Parvez M A. Gas assisted injection molding: the effects of process variables and gas channel geometry. *Journal of Materials Processing Technology*, 2002, **121**: 27-35
- [2] Castany F J, Serraller F. Methodology in gas assisted moulding of plastics. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, **144**: 214-218
- [3] Liu Shih Jung, Lin I Hsuan. Variations in surface gloss on parts made by gas assisted injection moulding. *Plastics, Rubber and Composites*, 2002, **31** (1): 28-35
- [4] Wang Lixia (王利霞), Shen Changyu (申长雨), Chen Jingbo (陈静波), Li Qian (李倩). Process and numerical simulation in filling stage of gas-assisted injection molding. *Journal of Chemical Industry and Engineering (China)*(化工学报), 2003, **54** (2): 176-181
- [5] Li Qian (李倩), Sheng Changyu (申长雨), Wang Lixia (王利霞), Liu Chuntai (刘春太), Dong Binbin (董斌斌). Numerical simulation of gas penetration in gas assisted injection molding. *Journal of Chemical Industry and Engineering (China)*(化工学报), 2003, **54** (4): 575-580
- [6] Luan Jun (栾军). *Technolog and Method of Design of Experiments (试验设计的技术与方法)*. Beijing: Shanghai Jiao Tong University Press, 1986
- [7] Dong Binbin (董斌斌), Shen Changyu (申长雨), Li Qian (李倩). Affecting factors of shrinkage and warpage of thin-wall injection molding process. *Journal of Chemical Industry and Engineering (China)*(化工学报), 2005, **56** (4): 727-731
- [8] Dong Binbin (董斌斌), Sheng Changyu (申长雨), Liu Chuntai (刘春太). The effect of injection process parameters on the shrinkage and warpage of PC/ABS's part. *Polymer Materials Science and Engineering*, 2005, **21** (4): 232-235
- [9] Lu X, Chiang H H, Fong L, Zhao J. Study of gas fingering behavior in gas assisted injection molding. *Polymer Engineering and Science*, 1999, **39** (1): 62-76