

采用模腔压力曲线的注塑成型实验

谢北萍, 刘斌

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 通过模腔压力传感器测量模腔压力,研究模具不同部位的模腔压力曲线,测量注塑过程中的模腔压力和塑料制品残余应力,研究模腔压力曲线与塑料制品残余应力的关系.在此基础上,探讨注射压力和保压压力对模腔压力曲线形状的影响规律.实验结果表明:模腔压力曲线和塑料制品残余应力、注塑工艺参数有很大的关系.

**关键词:** 注塑成型; 压力传感器; 模腔压力曲线; 注塑工艺参数

**中图分类号:** Q 320.662 **文献标志码:** A

模腔压力反映塑料在注塑过程中作用于模腔内壁的压力场分布<sup>[1]</sup>. 注塑成型过程的模腔压力曲线反映塑料熔体在模腔内的变化情况. 模腔压力曲线的形态与注塑工艺参数具有密切的联系<sup>[2]</sup>. 残余应力是导致注塑制品翘曲变形的主要原因,它是由塑料产品结构的厚度不均和工艺参数导致塑料冷却不均匀引起的. 残余应力严重影响塑料制品的强度、精度及美观程度<sup>[3]</sup>. 注塑过程中的模腔压力曲线能够精确地反映出成型后塑料制品的应力存留情况. 注塑完成后,若模腔压力能够回归到零,则说明塑料制品中没有残余应力;若模腔压力不能回归到零,则说明塑料制品中存在残余应力<sup>[4-5]</sup>. 因此,研究模腔压力曲线与残余应力的关系具有重要的工程意义. 李林楠<sup>[6]</sup>和邱斌<sup>[7]</sup>分别利用模腔压力曲线优化注塑工艺从而提高塑料制品的质量. 余少玲等<sup>[8]</sup>研究了注塑工艺参数对模腔压力的影响规律. 吴廷等<sup>[9]</sup>研究了不同控制方式的转压方式. 安静等<sup>[10]</sup>研究了模腔压力与制品熔接痕强度的关系. 本文借助模腔压力传感器研究模腔压力曲线形态与塑料制品残余应力的关系.

1 模腔压力曲线

完整周期的模腔压力曲线能直观地反映出塑料熔体在模腔中的变化情况,是众多注塑工艺参数的综合反映,且与塑料制品的最终质量有密切联系. 典型的模腔压力曲线,如图 1 所示.

由图 1 可知:完整周期的模腔压力曲线可分为若干个重要阶段,每个阶段的曲线形态都直观地反映出其对应时间段的注塑成型特点.

- 1) 特征点 1~2. 塑料熔体接触到传感器,传感器开始测量到数据.
- 2) 特征点 2~3. 该阶段为填充阶段,模腔压力不断增大.
- 3) 特征点 3~4. 该阶段为保压阶段,模腔压力增速最大,并得到最大值.

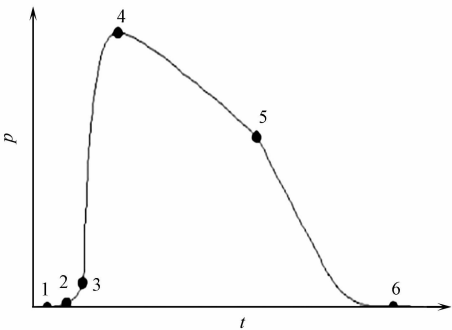


图 1 模腔压力曲线典型图  
Fig. 1 Typical graph of cavity pressure curve

- 4) 特征点 4~5. 该阶段为凝固阶段, 点 5 为浇口凝固点.
  - 5) 特征点 5~6. 浇口凝固后, 模腔内的熔体继续凝固, 模腔压力值急剧下降, 最终回归为 0.
- 在实际生产中, 可根据得到的模腔压力曲线对工艺参数进行调整, 从而提高塑料制品的成型质量.

2 实验方案

2.1 实验设备

通过模腔压力传感器测量得到注塑成型过程中的模腔压力曲线, 并将所得到的曲线进行保存. 所需的实验设备主要有: 注塑模(一模四腔的哈夫模); 注塑机(卧式注塑成型机); 6190CA 型模腔压力温度传感器, 2269 型 Como Injection 模腔压力温度数据采集系统(瑞士奇石乐公司).

2.2 传感器的安装

根据研究需要, 分别在模具流道处、边上模腔处和中间模腔处安装模腔压力传感器, 如图 2 所示. 图 2 中: 边上模腔处和中间模腔处的模腔压力传感器安装位置处于对称状态.

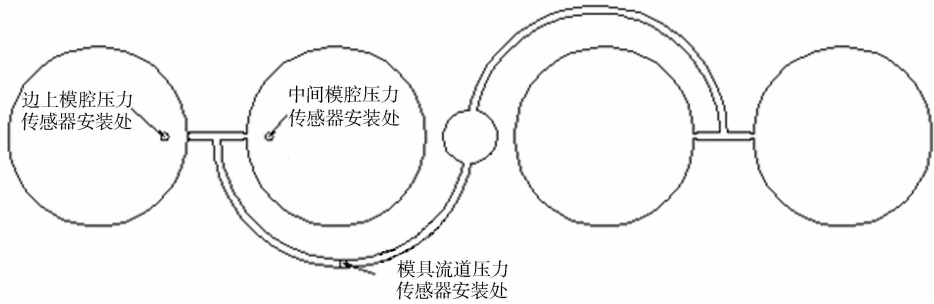


图 2 模腔压力传感器安装位置  
Fig. 2 Installation location of cavity pressure sensor

2.3 实验材料

实验材料为丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS), 根据实际的试模情况确定基本工艺参数组合: 熔体温度为 210 ℃; 注射压力为 9.5 MPa; 保压压力为 3.5 MPa; 注射时间为 2.0 s.

2.4 模腔压力曲线的获取

- 步骤 1 在正式实验开始之前, 先注射 50 模, 等注塑机工作稳定之后再继续进行正式的实验.
- 步骤 2 将工艺参数调整为节 2.3 中的参数. 先注射 10 模, 等注塑机工作稳定后, 注射 1 模, 并保存相应的模腔压力曲线, 以作后续实验之用.
- 步骤 3 改变步骤 2 中的保压条件, 即保压时间改为 0, 保压压力改为 0. 先注射 10 模, 等注塑机工作稳定后, 注射 1 模, 并保存相应的模腔压力曲线, 以作后续实验之用.

3 模具不同部位的模腔压力曲线

由于分析软件算法的缺陷, 模流分析技术得到的分析结果精度相对较低, 只能作为实际生产的参考. 例如, 对对称模腔进行分析, 得到的结果总是一致的. 模腔压力曲线则能够直接、精确地反映出熔体在模腔内的实际情况.

对注塑成型实验步骤 2 得到的模腔压力曲线进行研究. 模腔压力曲线主要测量灯罩模具中的流道和 2 个对称模腔处的模腔压力, 由此得到中间模腔处、边上模腔处和模具流道的模腔压力( $p$ )曲线, 如图 3 所示. 由图 3 可知: 不同部位的模腔压力曲线差异很大. 根据图 3 中模腔压力曲线的特点并借鉴其他文献的分析方法, 对不同部位的模腔压力曲线进行比较和分析.

- 1) 模具流道处. 由图 3 可知: 模具流道处的传感器最早测量到压力, 并迅速上升达到最大值; 随后, 模腔压力继续减小, 并逐渐回归到 0. 相对于另外两个模腔的压力曲线, 流道处的模腔压力曲线呈现出迅速上升和迅速下降的特点, 且模腔压力最大值最大. 这说明, 塑料熔体从喷嘴到流道的压力降比较小, 且填充完成后, 流道中的熔体迅速凝固.

2) 模腔处. 由图 3 可知: 虽然两个模腔完全对称, 但是两处对应的模腔压力曲线并不一致. 两处的模腔压力曲线起点一致, 说明塑料熔体经过分流道后, 同时到达传感器, 但是, 没有达到同样的最大值. 产生这种现象可能是由于两个模腔的表面磨损程度或者温度不同等原因引起的. 在冷却阶段, 模腔压力曲线并没有回归到 0, 说明得到的塑料制品中含有残余应力.

根据模具中不同部位的模腔压力曲线, 可直接看出塑料熔体各个部位的变化情况. 同时, 准确地展示出对称模腔处的模腔压力曲线的不同之处. 相对于模拟分析软件, 模腔压力曲线能够得到更加丰富的信息.

## 4 模腔压力曲线与制品残余应力的关系

### 4.1 不同工艺参数下的模腔压力曲线

将步骤 2, 3 得到的模腔压力曲线汇总, 如图 4 所示. 由图 4 可知: 在有保压的情况下, 冷却阶段模腔内仍存在较大的压力; 在无保压的情况下, 冷却阶段模腔内虽然仍存在一定的压力, 但相对于有保压情况, 已经大幅下降.

### 4.2 制品残余应力的测量

为了进一步研究产品残余应力与模腔压力曲线的关系, 利用冰醋酸对产品进行残余应力的分析测试. 将脱模后的塑料制品静置 3 h 后, 放入质量分数为 95% 的冰醋酸中浸泡 120 s, 用水冲洗干净, 自然风干后, 观察制件表面的发白程度.

### 4.3 实验结果分析

图 5(a) 为有进行保压工艺条件下得到的产品, 图 5(b) 为没有进行保压工艺条件下得到的产品. 由图 5 可知: 在有保压工艺条件下得到的制品的发白程度比没有保压工艺得到的制品要明显. 结合图 1 可知: 在注塑过程中, 模腔压力越小, 脱模后产品的残余应力越小. 在实际生产的试模中, 工程师可以利用监测得到的模腔压力曲线进行工艺参数的调整, 使得到的产品的残余应力最小化. 不仅能够提高注塑生产的效率, 也能够提高注塑产品的生产质量.

## 5 工艺参数对模腔压力曲线的影响

上述实验研究了注塑过程中模腔压力曲线和塑料制品的残余应力关系. 实验结果表明: 模腔压力曲线能有效反映出塑料制品中的残余应力. 在此基础上, 进一步研究注射压力、保压压力和保压时间对模腔压力曲线的影响. 以节 2.3 的工艺参数为基准, 依次改变, 得到不同工艺参数组合下模腔压力曲线. 其中: 注射压力变化范围为 8.5, 9.0, 9.5, 10.0 MPa; 保压压力变化范围为 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 MPa. 具体有以下 2 个步骤.

**步骤 1** 先注射 50 模, 等注塑机工作稳定之后再进行正式的实验.

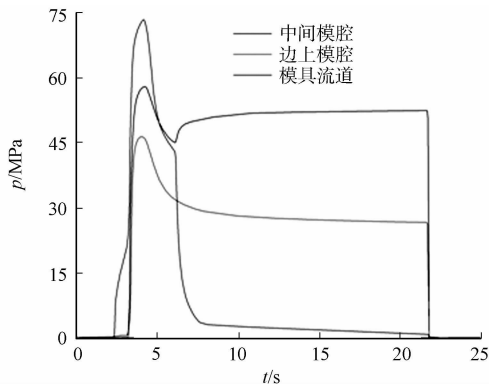


图 3 不同部位的模腔压力曲线  
Fig. 3 Cavity pressure curves in different position of injection mold

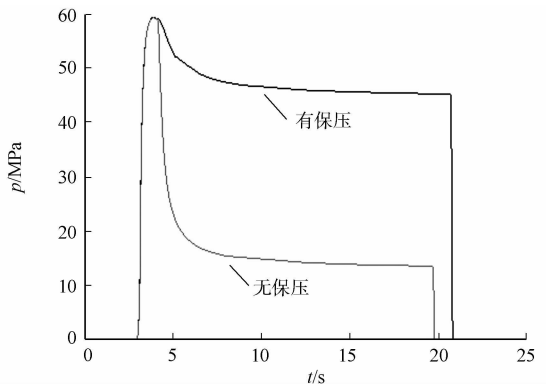
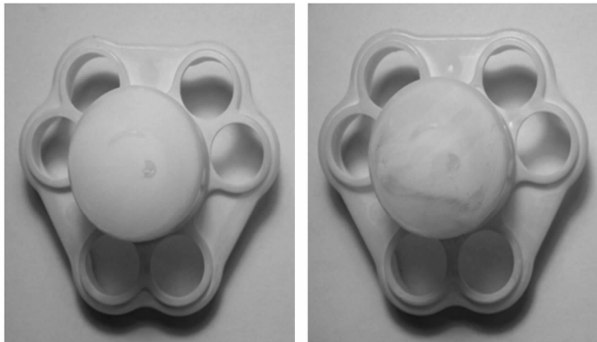


图 4 不同保压条件下的模腔压力  
Fig. 4 Cavity pressure in different packing conditions



(a) 有保压 (b) 无保压  
图 5 经冰醋酸浸泡后的塑料制品

Fig. 5 Plastic parts by acetic acid immersion

**步骤 2** 根据实验需要调整工艺参数. 调整工艺参数后,需先注射 10 模,等注塑机工作稳定后,注射 1 模,并保存相应的模腔压力曲线. 对实验得到模腔压力曲线进行整理,并做相应的分析.

**5.1 注射压力对模腔压力曲线的影响**

不同注射压力条件下的模腔压力曲线,如图 6 所示. 由图 6 可知:随着注射压力的增大,模腔压力的最大值不断增大,且模腔中残余压力值也不断增大. 在注塑过程中,随着注射压力的不断增大,塑料熔体的流动性提高. 在填充过程中,压力损失减小. 因此,模腔压力最大值不断升高. 进入保压时,塑料熔体从浇口处开始凝固,在模腔中依然会残留一定的压力. 在其他工艺条件不变的情况下,残余应力会随着模腔压力最大值的增大而增大.

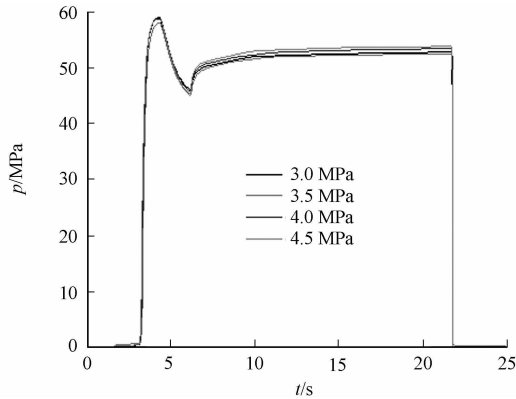
**5.2 保压压力对模腔压力曲线的影响**

不同保压压力条件下的模腔压力曲线,如图 7(a)所示. 由图 7(a)可知:不同保压压力条件下的模腔压力曲线变化并不大. 在注塑成型中,进入保压阶段后,浇口处的熔体开始凝固,注塑机施加的压力为膜腔内部的熔体压力影响不大. 但此时若撤掉保压压力,则会产生熔体倒流的现象.

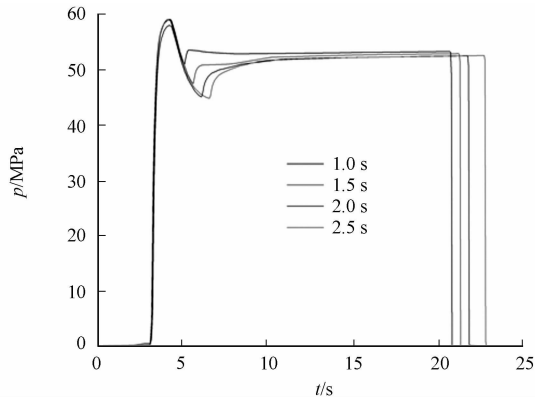
**5.3 注射时间对模腔压力曲线的影响规律**

边上模腔处不同注射时间条件下的模腔压力曲线,如图 7(b)所示. 由图 7(b)可知:随着注射时间的不断延长,模腔压力达到的最大值不断增大,且保压阶段的模腔压力值也随注射时间的增大而增大.

同样地,随着注射时间的不断延长,塑料模具型腔中的聚合物链将会产生更大的变形,从而导致模腔压力值变大. 在流道处由于塑料熔体很少,随着塑料熔体的凝固收缩,模腔压力值能够恢复到 0. 而在模具型腔中,塑料熔体的量很大,塑料熔体的凝固虽然能够使模腔压力减小,但是,塑料熔体无法回到 0. 因此,在冷却阶段,边上模具型腔处的模腔压力值不能回归到 0,且模腔压力值随着注射时间的不断延长而增大. 在实际生产中,为了防止残余应力的存在,需要合理地控制注射时间.



(a) 不同保压压力



(b) 不同注射时间

图 7 不同条件下的模腔压力曲线

Fig. 7 Cavity pressure curves in different conditions

**6 结论**

通过模腔压力传感器,研究模具不同部位的模腔压力曲线,塑料制品质量与模腔压力曲线形状的关系和注塑工艺参数对模腔压力曲线的影响规律. 图 1 为理想的模腔压力曲线,在注塑完成后,模腔压力便回到 0. 实验得到的模腔压力,由于所用材料、模具结构和实际生产条件等原因,在注塑过程中有残余应力. 根据文中的实验,得到以下 3 个结论.

1) 借助模腔压力传感器能够直观地了解到不同模具部位的模腔压力曲线特点,且能精确地反映出

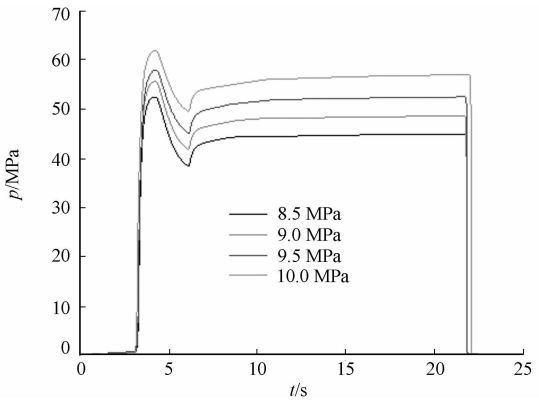


图 6 不同注射压力条件下的模腔压力曲线

Fig. 6 Cavity pressure curves in different injection pressure

对称部位模腔压力曲线的不同,进而反映出塑料熔体在模腔中的变化情况的不同.

2) 当注塑工艺条件从有保压调整为无保压时,模腔压力传感器能精确地反映出模腔压力曲线在保压阶段的变化情况. 根据测量结果可知:塑料制品的残余应力也相应地变小.

3) 在不同的注塑条件下,模腔压力曲线呈现出不同的变化趋势. 根据得到的规律,对实际生产可起到指导性作用.

参考文献:

[1] 陈金伟,徐百平. 模腔压力曲线在注塑工艺参数优化中的应用[J]. 工程塑料应用,2010,38(3):28-31.

[2] 郑荣成,STAHL J,KOCH F. 模腔压力曲线必须正确[J]. 国外塑料,2007,25(7):67-70.

[3] 朱光力,李继中. 透明塑料制品内应力检测仪设计与应用[J]. 机床与液压,2008,36(7):258-260.

[4] KURT M,KAMBER O S,KAYNAK Y,et al. Experimental investigation of plastic injection molding: Assessment of the effects of cavity pressure and mold temperature on the quality of the final products[J]. Materials and Design, 2009,30(8):3217-3224.

[5] KURT M,KAYNAK Y,KAMBER O S,et al. Influence of molding conditions on the shrinkage and roundness molded parts[J]. Advanced Manufacturing Technology,2010(46):571-578.

[6] 李林楠. 基于型腔压力测量的塑料注射成形过程监测[D]. 武汉:华中科技大学,2012:24-30.

[7] 邱斌. 注射成型中保压曲线对制品表面质量的影响[J]. 工程塑料应用,2007,35(1):37-39.

[8] 余少玲,许海航. 模腔压力对注塑工艺参数的响应[J]. 番禺职业技术学院学报,2006,5(4):61-64.

[9] 吴廷,安琪,谢鹏程,等. 采用型腔压力控制转压点[J]. 塑料,2010,39(5):79-81.

[10] 安静. 工艺参数对 PS 塑料熔接痕的影响[J]. 上海工程技术大学学报,2012,26(1):40-44.

Experimental Study on Injection Molding  
Using Cavity Pressure Curve

XIE Bei-ping, LIU Bin

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** Cavity pressure was measured by cavity pressure sensor to study cavity pressure in different position of injection mold. Cavity pressure and plastic part residual stress during the molding process were measured to study the relationship between them. On the basis, the effects of injection pressure and packing pressure on cavity pressure curve configuration were discussed. The experiment result shows that cavity pressure has a close connection with plastic part residual stress and injection parameters.

**Keywords:** injection molding; pressure sensor; cavity pressure curve; injection molding process parameter

(责任编辑: 钱筠      英文审校: 杨建红)