

接插件精密注射成型工艺参数的优化研究*

朱 刚 孙锡红

(上海理工大学,上海 200093)

摘要 以精密注射成型聚酰胺 66(PA66)/玻璃纤维(GF)接插件为例,采用正交试验和 CAE 模拟相结合的方法,对影响精密注塑制件收缩率的主要工艺参数进行优化,得到最佳工艺参数组合,并根据 PA66/GF 的 $P-V-T$ 曲线,对注射成型的保压阶段进行优化设计,进一步改善了制件的成型收缩率,有效解决实际生产中靠经验确定参数所带来的产品质量不稳定的问题,提高了生产效率和制件质量。

关键词 精密注射成型 正交试验 $P-V-T$ 曲线 Moldflow 收缩率

随着光纤通信、计算机、航天航空等工业逐渐向轻量化方向发展,设备零件趋于小型化、高精度、高性能和轻量化,迫切需要大量精密塑料件来代替传统的金属件,因此,提高塑料件尺寸精度成为塑料行业的重要攻关方向。塑料制件要取代高精密的金属零件,常规的注塑工艺是难以胜任的,于是精密注射成型工艺就孕育而生了。收缩、翘曲、缩痕是塑料注射成型式很容易出现的缺陷,这些缺陷与制件在冷却时的体积收缩率和在填充时的热应力有关。要使一个注塑制件达到要求的质量,就要对它的收缩率和变形量有准确的分析,这样才能降低报废率,达到好的经济效益。因此有效地控制注塑制件的收缩在精密注射成型中是一项很重要的工作。

笔者以某通讯接插件为例,用正交试验结合所选材料的 $P-V-T$ 曲线的方法来优化注射成型工艺参数,以减少注塑制件的收缩率,提高成型精度。

1 工艺参数的优化

1.1 塑料件及材料的选择

笔者所用的分析案例为某接插件的装配件,见图 1。产品尺寸为 $24\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 1\text{ mm}$,局部最小厚度达到 0.1 mm ,其中还有 30 个与金属线针相配合的矩形小孔,最小尺寸(孔宽)为 0.33 mm ,要求有较高的尺寸精度和装配精度,是典型的精密件。材料采用 DuPont 公司牌号为 Zytel 70G30 HSLR NC010 DAM 的聚酰胺 66(PA66),其含 30% 的玻璃纤维(GF)。PA66/GF 性能优良,常用于制备电器接头,电线电缆包覆等制件。在 PA66/GF 注塑中存在四大问题:流动性差、收缩率大且各向异性明显、性能易出现波动、制件表面粗糙度大。且 PA66/GF 成型过程中,PA66/GF 的成型温度不能太低,否则由于熔料的流动性差而产生充模不足,GF 分散不好;但温度也不能太高,因为过高的温度会使熔料易

发生降解。

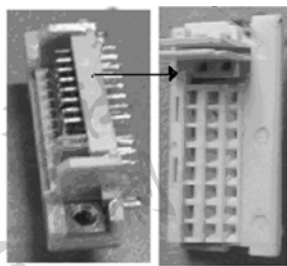


图 1 接插件装配件实体图

1.2 3D 模型的导入及网格处理

首先在 Pro/E 软件中对制件 3D 建模,然后将 3D 模型导入到 Moldflow 中,进行网格划分,其匹配率达到 90.3%,能达到较好的仿真精确性^[1]。考虑到生产率及生产量的问题,采用一模两腔,其网格划分后的模型如图 2 所示。

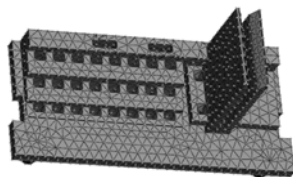


图 2 接插件装配件的网格划分

1.3 试验设计及成型模拟

本试验设计的目标值是制件的成型收缩率,其评价标准是成型收缩率越小越好。收缩的主要类型有热收缩、相变收缩、取向收缩、压缩收缩^[2]。热收缩是指处于高温的聚合物熔体及模具型腔在加热或冷却时产生的收缩,是成型材料与模具材料所固有的热物理特性,受模具温度的影响较大。相变收缩是指结晶性树脂在定型过程中结晶时比热容减少而引起的收缩。取向收缩是指成型材料熔融充模时分

* 2008 上海市教委重点课程建设项目

收稿日期:2010-03-05

子链在流动方向上取向, 冷却时大分子重新卷曲恢复在取向方向产生的收缩。分子取向程度与注塑压力、注射速率、树脂温度及模具温度等有关。影响制件成型收缩的因素有很多, 综合各项工艺参数对成型收缩率的影响程度, 笔者选取模具温度、熔体温度、保压压力、注射速率 4 个参数作为正交试验的因素。

在正交试验设计的过程中, 因素的取值范围相当重要^[3], 这不仅关系到所选范围是否含最优解或次优解, 也影响到优化过程中的搜索效率。根据 Moldflow 材料库中所推荐的成型工艺参数, 确定工艺参数的调整范围如下: 模具温度 70 ~110℃, 熔体温度 270 ~310℃, 保压压力 70% ~90% (指保压压力占填充压力的百分比), 注射速率 8 ~18 cm³/s。具体的因素和水平设置见表 1。根据表 1 数据及正交试验设计的原则, 选取正交试验表 L₉(3⁴) 进行正交试验^[4], 依照此表, 需利用 Moldflow 仿真软件进行模拟分析, 每次分析中, 按照表 2 对各参数进行设置, 并把每次所得到的成型收缩率填入表 2(注射时间设为 1.3 s, 其它参数采用 Moldflow 默认的设置)。

表 1 因素及水平设置			
因 素	因素水平		
	1	2	3
模具温度 (A) /℃	70	90	110
熔体温度 (B) /℃	270	290	310
保压压力 (C) /%	70	80	90
注射速率 (D) /cm ³ ·s ⁻¹	8	13	18

表 2 试验结果					
试验号	因素				收缩率 / %
	A	B	C	D	
1	70	270	70	8	7.077
2	70	290	80	13	8.160
3	70	310	90	18	9.068
4	90	270	80	18	7.131
5	90	290	90	8	8.305
6	90	310	70	13	9.262
7	110	270	90	13	7.276
8	110	290	70	18	8.559
9	110	310	80	8	9.342
K ₁ ¹⁾	8.102	7.161	8.299	8.241	
K ₂ ¹⁾	8.233	8.341	8.211	8.233	
K ₃ ¹⁾	8.392	9.224	8.216	8.253	
R ²⁾	0.290	2.063	0.088	0.020	

注: 1) K₁、K₂、K₃ 为因素在 3 个水平下模拟结果的平均值; 2) R 为各因素的极差。

由表 2 可以看出, 上述 4 因素对制件收缩率的影响程度为: B > A > C > D。即熔体温度对制件的收缩率的影响最显著, 其它 3 个因素的影响程度相

对较小。

根据表 2 的模拟结果, 可以得到最佳的工艺参数组合为 A₁B₁C₂D₂。该参数组合在已经进行过的试验组合中没有出现, 故根据该组合, 利用 Moldflow 进行模拟, 最后得到制件收缩率为 6.952%, 比上述 9 次试验得到的制件收缩率都小。

2 利用聚合物的 P-V-T 关系改善成型收缩率

2.1 P-V-T 优化方法原理

聚合物的 P-V-T 关系, 即聚合物的压力 (P)、比容 (V)、温度 (T) 之间的关系, 作为注塑过程的基础研究, 对注射成型有着深远的影响, 其结果不但可以用来说明注射成型过程中压力、密度、温度等相关的现象, 还可以用来分析制品加工可能产生的翘曲、收缩、气泡等缺陷的原因。对聚合物的 P-V-T 关系进行研究, 可获得聚合物加工的最佳工艺条件, 制得高质量的制件。通常表示包括聚合物液体在内的 P-V-T 关系为 Tait 方程^[2]:

$$\frac{V}{V_0} = 1 - C \ln \left(1 + \frac{P}{B} \right)$$

(1)

式中: V——压力 P、温度 T 时聚合物的比容;
V₀——压力 P = 0.1 MPa、温度 T 时的比容;
C——无量纲参数, 具有与压力相同的量纲。

P-V-T 关系曲线应用的目的是减少制件的收缩, 保持成型尺寸。本研究重点关注的是收缩率, 对应的是各个状态点比容 V 的变化。制件收缩率 S 可以按式 (2) 计算^[2]:

$$S = \frac{\sqrt[3]{V_2} - \sqrt[3]{V_1}}{\sqrt[3]{V_2}} \times 100\%$$

(2)

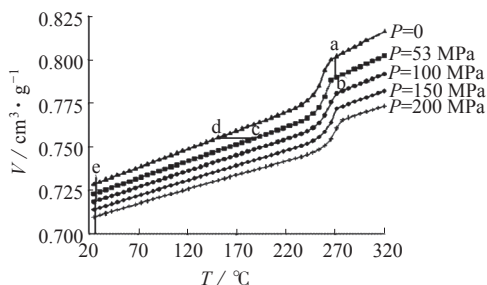
式中: V₂——浇口封闭时的比容;
V₁——常压室温的比容。

从式 (2) 可以看出, 当 V₂ 与 V₁ 相差越小, S 的值就越小, 即成型收缩率越小, 当 V₁ 与 V₂ 相等时, 理论成型收缩率将达到最小值 0, 但是, 在这种条件下, 将要求注塑机有很高的注塑压力, 有可能超出现有注塑机注塑压力的最大值, 而使生产不能实现。

2.2 P-V-T 优化方案

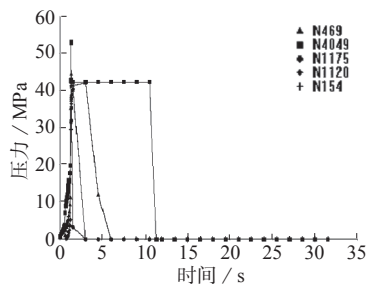
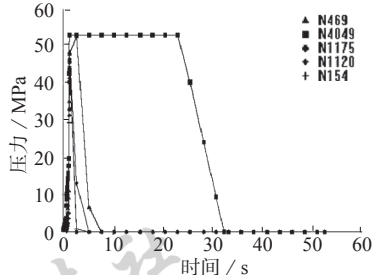
利用 P-V-T 曲线, 对由上述正交试验得到的最佳工艺参数组合 A₁B₁C₂D₂ 进行保压控制, 以期进一步改善制品的收缩率。图 3 是 PA66/GF 的一组 P-V-T 曲线。

在正交试验中, 保压采用的是 Moldflow 软件默认的保压控制, 即保压时间 10 s, 保压压力为 80% 的填充压力。而在 P-V-T 优化方案中是根据聚

图3 PA66/GF的 $P-V-T$ 曲线

合物的 $P-V-T$ 曲线来制定保压控制方案。根据参数组合 $A_1B_1C_2D_2$ 的试验结果及 Moldflow 提供的参考顶出温度(158℃), 采用如图3所示的 a-b-c-d-e 的保压路线。其中, ab 段为填充阶段, 所对应的温度为熔体温度 270℃, bc 段为等压保压过程, 保压压力为 100 MPa, cd 段为等比容保压过程, 此时聚合物的比容不变, de 段为冷却过程。按照上述保压控制曲线, 利用 Moldflow 进行注射成型的仿真模拟, 得到制品的最大收缩率为 5.805%, 相比方案 $A_1B_1C_2D_2$ 的结果 6.952% 减少了近 16.5%。

压力的差异可造成收缩差异, 在填充保压过程中, 模腔压力在接近浇口处最高, 随塑料熔体流动损耗而递减, 至制品前缘压力最低。对于流动长度较长的制品及薄壁件, 此种压力分布情形尤为严重。模腔压力较高区域收缩率较低, 模腔压力较低区域收缩率较高。选取浇口节点 N469, 熔体入口节点 N4049, 填充末端节点 N1175 及塑料件上其它任意两节点 N1120、N154, 分别得到在方案 $A_1B_1C_2D_2$ 和 $P-V-T$ 保压控制方案下的两组压力曲线, 如图4和图5所示。比较图4和图5, 可以看到图4各点的压力相差比较小, 而图5各点的压力相差较大, 这表明采用 $P-V-T$ 保压控制不仅能减小收缩率, 还能改善成型过程中的压力分布, 使其更趋于均匀, 从而使整个制品的收缩率更加均匀, 有助于减小翘曲变形。进一步说明了根据聚合物的 $P-V-T$ 曲线对注射成型进行保压参数设置能得到很好的成型效果。

图4 方案 $A_1B_1C_2D_2$ 的压力曲线图5 根据 $P-V-T$ 保压控制的压力曲线

3 结论

(1) 在模具温度、熔体温度、保压压力、注塑速率4个主要影响注射成型制件收缩率的因素中, 熔体温度对收缩率的影响最明显;

(2) 采用正交试验, 并结合 CAE 软件 Moldflow 对注射成型进行仿真分析, 能够很好地对注射成型工艺参数进行优化, 据此得到最优的参数组合;

(3) 在正交试验所得到的最优工艺参数组合的基础上, 根据聚合物的 $P-V-T$ 曲线, 对注射成型过程进行保压控制, 能进一步改善注塑制件的成型收缩率。

参考文献

- [1] 单岩, 王蓓, 王刚, Moldflow 模具分析技术基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [2] 杨卫民, 丁玉梅, 谢鹏程, 等. 注射成型新技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 420-438.
- [3] 顾燕如, 王雷刚, 黄瑶. 精密接插件注塑成型工艺参数的优化设计[J]. 中国塑料, 2007, 21(8): 70-72.
- [4] 刘振学, 黄仁, 田爱民. 实验设计与数据处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 62-73.

STUDY ON OPTIMIZATION OF CONNECTOR PRECISION INJECTION MOLDING PARAMETERS

Zhu Gang, Sun Xihong

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT The main technological parameters which influence the shrinkage of precision injection molding are optimized using orthogonal test, combining with Moldflow simulation analysis with plastic connector as an example. Further the packing stage is optimized according to the $P-V-T$ curve of PA66/GF to improve the shrinkage of products. The problem of unstable quality of product causing by experience is solved effectively and the productivity effect and product quality are improved.

KEYWORDS precision injection molding, orthogonal test, $P-V-T$ curve, Moldflow, shrinkage