

微孔泡沫塑料注射成型工艺优化

张志莲 江 波

(北京化工大学机电工程学院, 北京 100029)

摘要 结合 CAE 和 Taguchi DOE 技术研究了工艺参数对注射成型微孔(丙烯腈/丁二烯/苯乙烯)共聚物(ABS)泡沫塑料泡孔直径的影响。结果表明, CAE 和 Taguchi DOE 技术是研究工艺参数对制品质量的影响并优化工艺参数的有效工具; 在所研究的工艺范围内, 熔体温度和注射时间对泡孔直径有较强的影响; 而注塑压力和模具温度对泡孔直径的影响较弱; 通过减少注射时间、提高熔体温度和注塑压力可增大泡孔直径。

关键词 微孔泡沫塑料 注射成型 优化 泡孔直径 ABS

微孔泡沫塑料的注射成型技术与传统塑料发泡技术不同, 既不需要化学发泡剂, 也不需要以烃基为原料的物理催化剂、泡沫剂等其它相关反应成分。它是利用超临界气体在注射成型的聚合物熔体中产生分布均匀和尺寸较为一致的微小气孔(泡孔直径为 $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$ 、泡孔密度为 $1 \times 10^9 \sim 1 \times 10^{15}$ 个/ cm^3)^[1]的一种新型注射成型技术。微孔泡沫塑料因其自身独特的结构, 与普通泡沫塑料相比, 表现出很多优异的综合性能, 例如具有较高的冲击强度、疲劳强度和热稳定性, 较低的导电常数和热导率等, 在包装、建筑、汽车、航空航天及运动器材等行业有着广泛的应用^[2]。

微孔泡沫塑料的注射成型是在美国麻省理工学院于 20 世纪 80 年代提出的微孔泡沫塑料概念和制备方法的基础上发展起来的。与挤出发泡一样, 为了在聚合物熔体中产生高密度的微孔, 微孔泡沫塑料注射时需要一个快速的压力降, 因而微孔泡沫塑料注射成型的一个基本要点是高速注射。工艺参数的科学选定与微孔泡沫塑料注射制品的质量密切相关。笔者基于工艺参数与微孔泡沫塑料制品性能的关系, 在注塑模拟 CAE 基础上结合实验设计(DOE)技术, 通过正交实验的极差分析和模糊加权综合评价得出较优的工艺参数组合, 再用 CAE 的比较试验来验证结论的正确性, 以达到最优配置工艺参数的目的。

1 CAE 分析

气泡成核和气泡长大控制是目前微孔泡沫塑料成型的研究重点, 如何获得预定尺寸要求的微孔是制备合格制品的关键。笔者借助 CAE 有限元、有限差分、边界元法模拟成型过程中聚合物熔体/气体均相体系在模腔中的流动和传热, 预测气泡在熔体中的分布状态及气泡成型尺寸, 根据预测结果及时修

改工艺参数, 以求得到泡孔分布均匀、尺寸统一的微孔泡沫塑料。

为了预测气泡核在聚合物熔体中的成长过程, 必须分析微孔泡沫塑料注射成型的全过程。将聚合物加入注塑机的料筒, 经螺杆剪切和机筒的加热塑化后, 将超临界气体注入注塑机熔融段与熔体均匀混合, 然后以高压高速注入模腔。聚合物熔体/气体均相体系在模腔内突然降压, 使熔体中大量的过饱和气体离析出来, 迅速发泡、膨胀、最终定型形成微孔泡沫塑料制品。泡孔在聚合物熔体中的成长依赖于聚合物熔体/气体均相体系的剪切粘度, 采用的粘度模型见式(1):

$$\eta = \eta(1 - \Phi)^{V_1} \exp(V_2 C + V_3 C^2) \quad (1)$$

式中: η ——聚合物熔体/气体均相体系的粘度;

η ——聚合物本体的粘度;

Φ ——气泡核的体积分数;

C ——气体的初始浓度;

V_1 、 V_2 、 V_3 ——拟和系数。

气泡的膨胀过程采用气体扩散模型, 见式(2):

$$D = D_1 e^{\frac{D_2}{T}} \quad (2)$$

式中: D ——气体扩散系数;

T ——熔体温度;

D_1 、 D_2 ——拟和系数。

2 DOE 技术

DOE 技术^[3]是研究实验数据的获得和科学分析处理实验数据与结果的一种方法。目前应用最多的是正交实验设计方法。传统的实验设计方法是在分析实际生产中各个工艺参数的水平组合的基础上进行真实的实验并研究实验结果。然而有许多真实实验难以进行且有些质量指标很难测量, 所以

采用多种解析和数值方法模拟真实实验。笔者采用 Taguchi DOE 技术设计实验和计算各个参数对制品质量的影响,然后利用注塑模拟 CAE 软件 Moldflow 对微孔泡沫塑料注射成型的充填、后充填过程进行数值模拟,预测工艺参数对微孔泡沫塑料制品质量的影响,得到近似优化解。

3 实验设计及模拟结果

影响微孔泡沫塑料制品质量和产量的因素主要有原材料、成型工艺和成型设备 3 方面。当原材料和成型设备确定后,决定因素就是成型工艺。微孔泡沫塑料注射成型的主要工艺参数是压力、温度和时间等。压力包括注塑压力、背压与模腔压力等;温度包括料筒温度、熔体温度和模具温度;时间是指注射时间。笔者选用模具温度、熔体温度、注塑压力和注射时间 4 个主要的实验因子,以手机内板(尺寸为 115 mm ×38 mm ×1.5 mm)为研究对象,其几何模型如图 1 所示。材料采用 Asahi Kasei Corporation 公司生产的熔体流动速率为 10 g/10 min 的(丙烯腈/丁二烯/苯乙烯)共聚物(ABS)。具体的因子及因子水平设置见表 1。用 CAE 模拟真实实验,以微孔泡沫塑料的泡孔直径作为质量指标,数值模拟结果见表 2。

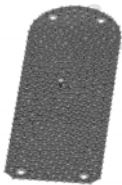


图 1 手机内板几何模型
表 1 因子及因子水平设置

因子编号	因子	水平 1	水平 2	水平 3
A	模具温度 /℃	70	80	90
B	熔体温度 /℃	210	230	250
C	注塑压力 /MPa	160	180	200
D	注射时间 /s	0.35	0.50	0.65

表 2 数值模拟结果							
实验编号	因子水平设置				泡孔直径 /mm		性噪比 /dB
	A	B	C	D			
1	1	1	1	1	0.00055	0.00066	-64.4727
2	1	2	2	2	0.00566	0.00152	-53.6553
3	1	3	3	3	0.00643	0.00222	-50.5517
4	2	1	2	3	0.00049	0.00073	-64.8011
5	2	2	3	1	0.00599	0.00611	-44.3662
6	2	3	1	2	0.00621	0.00648	-40.8052
7	3	1	3	2	0.00061	0.00071	-63.6840
8	3	2	1	3	0.00133	0.00131	-58.3438
9	3	3	2	1	0.00618	0.00629	-44.1043

4 结果分析

4.1 工艺参数优化

通过变量分析可定量估计各个因子对整体测量响应的相对贡献。在分析中采用统计量性噪比^[4](S/N)对实验性能进行估计。S/N 的计算公式形式依赖于目标函数的类型。S/N 的最大值表示性能对噪音的敏感程度最小。选用泡孔直径作为质量指标,属于目标值越大越优问题,性噪比计算公式如式(3)所示。

$$S/N = -10\lg(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}) \tag{3}$$

式中: y_i ——质量指标的测量值;

n ——每个实验的重复次数。

表 2 已列出根据式(3)得到的各实验的 S/N。对表 2 进行分析得到工艺参数对泡孔直径的影响,见图 2。

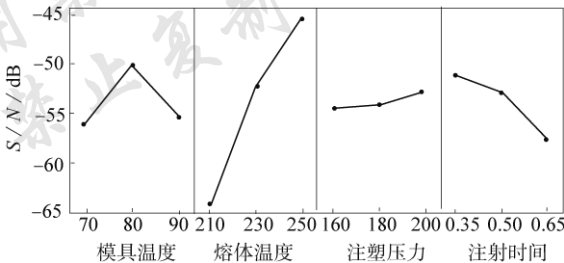


图 2 工艺参数对泡孔直径的影响

由图 2 可知,升高熔体温度、增加注塑压力及减少注射时间(即增加注射速率)均可增大制品的泡孔直径;对于该制品的最佳模具温度为 80℃。并可预测使泡孔直径最大的优化因子水平组合是 A₂B₃C₃D₁。该组合没有包含在正交矩阵的主实验中,需要预测对应于优化因子水平组合的制品质量指标响应。因为没有考虑因子之间的相互作用,优化因子水平组合的预测 S/N 可简化为:

$$\eta_{A_2B_3C_3D_1} = \eta_0 + (\eta_2 - \eta_0) + (\eta_3 - \eta_0) + (\eta_3 - \eta_0) + (\eta_1 - \eta_0) \tag{4}$$

式中: $\eta_{A_2B_3C_3D_1}$ ——优化因子水平组合 A₂B₃C₃D₁ 的预测 S/N;

η_0 ——主实验中 9 个实验的 S/N 的平均值,其值为 -53.865dB;

η_2 、 η_3 、 η_3 、 η_1 ——分别为因子 A、B、C、D 的第 2、3、3、1 个水平的 S/N,其值分别为 -49.991、-45.156、-52.867、-50.981 dB。

由式(3) 预测的优化因子水平组合 $A_2B_3C_3D_1$ 的 S/N 为 -37.40 dB, 比表 2 中主实验的值都高。

采用 CAE 软件 Moldflow 进行实验验证, 得到优化因子水平组合 $A_2B_3C_3D_1$ 验证实验的 S/N 为 -37.21 dB, 比预测值及主实验的值都高; 泡孔最大直径为 0.0067 mm, 比主实验中的其它泡孔直径都大。因而应用优化因子水平组合可增大微孔泡沫塑料的泡孔直径。

4.2 工艺参数的重要性

为了确定各个工艺参数对制品质量指标的影响程度, 需要计算方差和。各工艺参数对制品性能的影响程度为各工艺参数的方差和与总方差和的比值。表 3 给出各工艺参数对泡孔直径的影响程度。由表 3 可知, 熔体温度对泡孔直径的影响最强, 注射时间对泡孔直径也有较强的影响, 模具温度和注

表 3 工艺参数对制品泡孔直径的影响程度			
实验因子	自由度	方差和	各因子对泡孔直径的影响程度/%
A	2	4.15	18.333
B	2	1.13	56.347
C	2	0.64	4.920
D	2	0.11	20.400

塑压力对泡孔直径的影响较弱。

5 结论

(1) 将 CAE 技术和 Taguchi DOE 技术结合, 开发了基于微孔泡沫塑料注射成型充填、后充填数值模拟的自动 DOE 系统, 该系统成为研究工艺参数对制品质量的影响并优化工艺参数的有效工具。

(2) 在所研究的工艺范围内, 熔体温度和注射时间对 ABS 微孔泡沫塑料的泡孔直径有较强影响; 注塑压力和模具温度的影响较弱。

(3) 通过减少注射时间、提高熔体温度和注塑压力可增大 ABS 微孔泡沫塑料的泡孔直径。

参考文献

1 吴智华, 孙洲渝, 唐卓, 等. 影响注塑 PP 微孔材料结构的工艺参数. 中国塑料, 2002, 16(9): 57

2 Lih-Sheng Tzeng, Hrishikesh Kharbas. Effect of process conditions on the weld line strength and microstructure of microcellular injection molded parts. Polym Eng Sci. 2003, 43(1): 157

3 吴贵生, 于治福, 于淑政, 等. 试验设计与数据处理. 北京: 冶金工业出版社, 1997.

4 Lua X H, Knimb L S. A stastical experimenta study of injection molding of optical lenses. Materials Processing Technology, 2001, 113: 189

OPTIMUM DESIGN OF PROCESS PARAMETERS IN MICROCELLULAR FOAM INJECTION MOLDING

Zhang Zhilian, Jiang Bo

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

ABSTRACT Based on CAE and Taguchi DOE technology, the influence of process parameters on foam ABS was investigated in microcellular injection molding. The results indicated that CAE and Taguchi DOE technology was an effective method to investigate and optimize the process parameters; the melt temperature and injection time had great influence on bubble diameter, while injection pressure and mold temperature had little influence within the range of selected process parameters. The results also showed that the bubble diameter could be increased by reducing injection time, increasing melt temperature and injection pressure.

KEYWORDS microcellular foam, injection molding, optimization, bubble diameter, ABS

欢迎查询有关广告

对于在我刊刊登的所有广告, 如读者需要查询更详细的资料或了解情况, 请填好《读者查询广告资料服务卡》后寄回或来函。本杂志社将为您提供或转请有关单位提供资料, 以满足您的要求。如需购买任何广告单位的材料、设备、仪器及配件等产品, 我社将帮助您联系, 以保证产品质量, 争取优惠价格。欢迎各单位在我刊刊登广告。刊登办法函索即寄。

《工程塑料应用》读者查询广告资料服务卡

No_____

读者姓名_____单位_____

通讯地址_____电话_____ 邮政编码_____

欲获得《工程塑料应用》_____年第_____期第_____页_____

广告中有关_____的详细资料。

如空位不够, 请另附纸。填好后请寄回。

山东省济南市 108 信箱杂志社

邮政编码: 250031