

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.06.010

微发泡注射成型工艺参数对制品尺寸稳定性的影响^{*}

边智, 谢鹏程, 杨卫民, 丁玉梅

(北京化工大学机电工程学院, 北京 100029)

摘要: 研究了微发泡注射成型工艺对制品 X 方向和 Y 方向上尺寸稳定性的影响。采用信噪比作为评价指标, 根据 Taguchi 实验设计方法对玻璃纤维增强聚丙烯进行实验。结果表明, 影响制品尺寸稳定性的主要因素是玻璃纤维含量、注射速率和气体摩尔分数, 合理的微发泡注射成型工艺可以明显地改善玻璃纤维增强型微发泡制品的尺寸稳定性。

关键词: 微发泡注射成型; 尺寸稳定性; 玻璃纤维; Taguchi

中图分类号: TQ320.66

文献标识码: A

文章编号: 1001-3539(2012)06-0040-03

Effect of Microcellular Injection Molding Parameter on the Dimensional Stability of Parts

Bian Zhi, Xie Pengcheng, Yang Weimin, Ding Yumei

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

Abstract: The effects of microcellular injection molding parameter on the dimensional stability of parts in both X direction and Y direction were investigated, the signal-to-noise ratio was assumed as the evaluation standard. According to the Taguchi experiments design method, the glass fiber reinforced polypropylene was performed. The results showed that the glass fiber content, injection speed and the gas mole fraction affected the dimensional stability of microcellular parts most significantly. Within the reasonable injection molding parameter conditions, the dimensional stability of glass fiber reinforced microcellular parts could be improved.

Keywords: microcellular injection molding; dimensional stability; glass fiber; Taguchi

注射成型制品的尺寸不稳定是高分子材料成型加工领域长期存在的难题, 制品的成型质量和尺寸精度极大地影响着制品的使用性能。成型质量受到模具结构、高分子材料性能及成型加工工艺等因素的影响。微发泡注射成型技术是一种新型的绿色加工工艺, 通过在制品内部形成大量微小泡孔, 形成泡孔直径为 $1 \sim 10 \mu\text{m}$ 、泡孔密度为 $10^9 \sim 10^{12}$ 个/ cm^3 的微观结构, 这种独特的微观结构可大幅度消除制品中的残余应力, 减少了制品的尺寸收缩和翘曲, 使制品具有更高的尺寸精度和成型质量^[1-2]。但由于大量微孔的存在, 使其在拉伸作用下材料受力的有效面积减少, 导致其拉伸强度下降。所以常对高分子材料进行填充改性, 使用改性后的材料发泡制品的力学性能得到改善, 但由于填充物的加入, 又会引起制品的尺寸精度和成型质量问题^[3-5]。

笔者针对材料填充改性后引起制品的尺寸精度和成型质量问题, 以玻璃纤维增强聚丙烯 (PP/GF) 为例进行微发泡注射成型实验, 并根据 Taguchi 实验设计, 研究了各主要微发泡成型工艺对制品质

量的影响。采用信噪比作为制品尺寸稳定性的评价指标, 信噪比是实验设计中变量分析和容差分析的基础。通过正交实验的极差分析, 可以明确各成型工艺参数对制品尺寸稳定性的影响, 得出优化的微发泡 PP/GF 体系成型工艺, 使微发泡 PP/GF 体系的力学性能提高的同时, 获得良好的尺寸稳定性和成型质量。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PP: K8303, 粒料, 中国石化北京燕山石化公司;

PP/GF2100: 粒料, 短 GF 的质量分数 10%, LG 化学公司;

PP/GF2200: 粒料, 短 GF 的质量分数 20%,

^{*} 国家自然科学基金项目 (21174015, 50973009), 教育部博士点基金项目 (20090010110005)

联系人: 丁玉梅, 副研究员, 主要从事高分子材料先进制造研究工作

收稿日期: 2012-03-14

LG 化学公司;

N₂:普通级,北京如源如泉科技有限公司。

1.2 仪器与设备

注塑机:PT130 型,香港力劲集团;

注塑定容发泡控制器:FPC-1/V/N₂ 型,北京中拓机械有限责任公司;

高压氮气压缩机:GBL-200/350 型,北京中拓机械有限责任公司;

高温熔体压力传感器:PT124B-121T 型,上海朝辉压力仪器有限公司;

电热鼓风干燥箱:WH-101-1B 型,上海文皓塑料机械厂;

游标卡尺:赛拓 8012 型,上海赛拓五金工具有限公司。

1.3 实验方法

采用 Taguchi 实验设计方法,利用正交矩阵对多个实验因素进行优化,通过数目较少的实验找出在所用因素及对应水平条件下的最优水平组合和实验因素对实验指标的影响度。在 Taguchi 实验设计中,采用信号噪声比做为微发泡注射成型制品尺寸稳定性的评价标准,信噪比越高,品质越好。选择制品 X 方向和 Y 方向的尺寸收缩作为品质考察指标,对注射速率、注塑压力、喷嘴温度、气体摩尔分数、GF 质量分数、模具温度和冷却时间分别记为 A、B、C、D、E、F、G 7 个工艺参数进行正交实验设计,各参数分别取 3 个水平,如表 1 所示。根据因素和水平划分,选择 7 因素 3 水平的 L₁₈(3⁷) 正交表设计实验。

表 1 正交实验中的因素和水平

因素	A/ mm·s ⁻¹	B/ MPa	C/ ℃	D/ %	E/ %	F/ ℃	G/ s
水平 1	40	6	200	0.2	0	25	30
水平 2	80	12	210	0.4	10	40	35
水平 3	120	18	220	0.6	20	60	40

1.4 性能测试及表征

为了更好地研究工艺参数对微发泡制品尺寸稳定性的影响,制品选择矩形薄板,型腔尺寸为 147 mm×40 mm×2 mm,每组实验加工稳定后,选择其中 3 个试样,分别测量 X 方向和 Y 方向尺寸值,并与型腔尺寸比较计算差值,取 3 个试样 X 方向和 Y 方向差值的均方差作为优化指标 y₁ 和 y₂。采用信噪比作为评价标准,研究各工艺参数对制品尺寸稳定性的影响,信噪比的计算公式如式(1)所

示。其中 S/N 是信噪比, $\bar{y}$ 是差值平均值, m 是型腔标准值, s 是标准偏差。

$$S/N = -10 \lg \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - m)^2}{n} = -10 \lg [(\bar{y} - m)^2 + s^2] \quad (1)$$

2 结果与讨论

2.1 实验数据处理

采用 SPSS 软件对正交实验数据进行处理,通过对各因素的直观分析,得到了各工艺参数的均值分析结果和极差分析结果,每组工艺参数实验结果如表 2 和表 3 所示。并绘制出各工艺参数对质量指标的综合影响,如图 1 和图 2 所示。

表 2 L₁₈(3⁷) 正交表及实验结果

序号	A	B	C	D	E	F	G	S/N _x	S/N _y
1	1	1	1	1	1	1	1	19.703	25.105
2	1	2	2	2	2	2	2	22.071	27.726
3	1	3	3	3	3	3	3	19.441	23.760
4	2	1	1	2	2	3	3	22.302	30.491
5	2	2	2	3	3	1	1	24.923	30.465
6	2	3	3	1	1	2	2	18.834	28.057
7	3	1	2	1	3	2	3	23.284	27.290
8	3	2	3	2	1	3	1	20.126	24.304
9	3	3	1	3	2	1	2	27.223	29.243
10	1	1	3	3	2	2	1	17.355	22.106
11	1	2	1	1	3	3	2	20.871	24.945
12	1	3	2	2	1	1	3	15.952	25.968
13	2	1	2	3	1	3	2	21.032	25.390
14	2	2	3	1	2	1	3	22.252	26.531
15	2	3	1	2	3	2	1	19.601	23.189
16	3	1	3	2	3	1	2	23.858	25.562
17	3	2	1	3	1	2	3	24.383	27.290
18	3	3	2	1	2	3	1	16.315	25.162

表 3 制品 X 方向和 Y 方向均方差均值分析和极差分析

项目	实验号	A	B	C	D	E	F	G
X 方向均方差	K ₁₁	19.232	21.422	22.514	20.210	25.869	22.318	19.671
	K ₂₁	22.531	23.438	20.596	20.818	24.477	20.921	22.315
	K ₃₁	21.657	22.561	20.311	22.393	22.019	20.181	21.436
	R ₁	2.929	1.877	1.803	3.183	1.991	1.644	1.437
Y 方向均方差	K ₂₁	24.935	24.991	26.711	24.182	23.996	27.146	25.055
	K ₂₂	27.475	26.877	25.406	25.207	21.420	25.943	26.881
	K ₂₃	26.354	25.897	25.053	26.376	20.605	25.676	26.838
	R ₂	2.419	1.780	1.547	2.194	1.980	1.533	1.470

注: K_{ij} 表示在某个工艺参数水平下制品均方差的均值分析, i=1, 2, 表示 X 方向和 Y 方向; j=1, 2, 3, 表示 3 个水平。

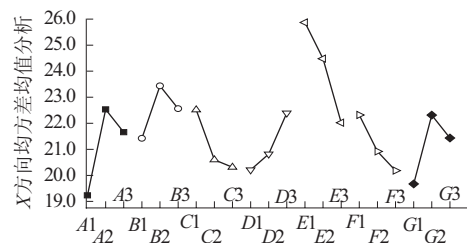


图 1 各工艺参数对 X 方向均方差均值分析的影响

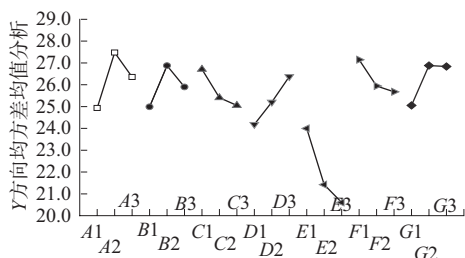


图2 各工艺参数对Y方向均方差均值分析的影响

2.2 实验结果讨论

由图1和图2可知,GF含量对制品的尺寸稳定性影响最大。随着GF含量的增加,制品的尺寸稳定性变差,所以在满足制品力学性能的使用需求下,应尽可能地减少GF的含量,提高制品的尺寸稳定性。注射速率和气体摩尔分数的影响也十分明显。注射速率太大,制品冷却定型时内部残余应力使制品发生尺寸收缩;而注射速率较低又会延长充模时间,熔体进入模具前后温度差异较大,制品内部产生温度应力,也会造成制品的尺寸收缩。根据经典的均相成核理论,气体摩尔分数越高气泡成核率越高,泡孔密度越大,则制品内泡孔直径变小且更加均匀,使制品的微观形态更加稳定,提高制品的尺寸稳定性。此外,注塑压力、喷嘴温度和模具温度提高,都会使制品的内应力增大,引起制品尺寸的不稳定,产生尺寸波动。随着冷却时间的增加,制品的尺寸稳定性得到提高,冷却时间越长,制品内分子结晶作用越充分,使制品能够充分释放残余应力,减少脱模后的尺寸收缩。

由图1和图2还可以看出,工艺参数对制品尺寸收缩在X方向和Y方向影响趋势相同,即在熔体流动方向和垂直于流动方向上,工艺参数对制品尺寸收缩影响趋势是一致的,由于制品的长宽比很大,两个方向的尺寸收缩程度不同。若制品在两个方向上的尺寸收缩程度差距很大,制品就极易发生翘曲变形。所以综合考虑制品收缩和翘曲两方面因素,对制品尺寸稳定性影响从大到小依次是: $E > A >$

$D > B > C > F > G$,即GF质量分数、注射速率、气体摩尔分数、注塑压力、喷嘴温度、模具温度和冷却时间。根据表2,第5,9,17组的工艺组合制品在X方向尺寸收缩程度较小,第5,9,17组的工艺组合制品在Y方向的尺寸收缩程度差距较小,所以第5,9,17组为三组较好的成型工艺组合。结合各工艺参数的均值分析数据,得出优化的微发泡注射成型工艺组合为A2B2C1D3F1G2,即注射速率80 mm/s,注塑压力12 MPa,喷嘴温度200℃,气体摩尔分数0.6%,模具温度25℃,冷却时间35 s。

3 结论

(1)微发泡注射成型技术可以提高制品的尺寸稳定性,使制品具有更好的尺寸精度和成型质量。对于GF增强材料,GF含量、注射速率和气体摩尔分数是制品尺寸稳定性的主要影响因素。

(2)通过合理安排微发泡注射成型工艺,可以明显地改善GF增强型材料微发泡制品的尺寸稳定性,解决了GF提高制品的力学性能时所引起的制品尺寸不稳定现象。

参考文献

- [1] 杨卫民,丁玉梅,谢鹏程,等.注射成型新技术[D].北京:化学工业出版社,2008.
- [2] 彭响方,刘婷,兰庆贵,等.微发泡塑料注射成型技术及其新进展[J].材料导报,2005,19(11):75-78.
- [3] Shyh-Shin Hwang, Zhi-Suan Ke. The dimensional stability of a microcellular injection molded gear shaft [J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2008, 35(3): 263-275.
- [4] Hwang Shyh-shin, Peming P H, Chiang Chi-wei. Shrinkage study of textile roller molded by conventional / microcellular injection-molding process [J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2008, 35(6): 735-743.
- [5] Kramschuster A, Cavitt R, Ermer D, et al. Quantitative study of shrinkage and warpage behavior for microcellular and conventional injection molding [J]. Polymer Engineering and Science, 2005, 45(10): 1408-1418.

一季度我国塑料加工专用设备产量下降明显

2012年3月份,我国生产塑料加工专用设备2.5万台,同比下降13.42%。另有数据显示,2012年1~3月,全国塑料加工专用设备的产量为5.17万台,同比下降20.16%。

从我国各省市的产量来看,2012年1~3月,浙江省塑料加工专用设备的产量达2.34万台,同比下降28.26%,占全国总产量的45.29%。紧随其后的是广东省、山东省和上海市,分别占总产量的24.58%,15.24%和12.67%。(工塑网)

一季度我国塑料制品产量增8.22%,增速放缓

2012年1~3月,我国塑料制品生产及经济运行保持基本稳定,但是总体生产较2011年同期有一定程度下降,许多产品产量及增长水平不如2011年同期水平。

2012年1~3月,我国塑料制品累计总产量1388.95万t,同比增长8.22%,增幅较2011年1~3月下降了11.87%。2012年3月份,我国塑料制品的产量为537.23万t,同比增长了10.86%,增幅较2011年3月份下降了18.29%。

(工塑网)