

纤维增强 PA66 注塑熔接痕性能的工艺优化^{*}

杨 扬 董斌斌 刘春太

(郑州大学橡塑模具国家工程研究中心, 郑州 450002)

摘要 针对注塑过程中纤维增强 PA66 制品出现的熔接痕缺陷, 利用 Taguchi 方法设计了 L9 实验矩阵, 分析了注塑压力、熔体温度、注射速率和保压压力等工艺因素对注塑件熔接痕拉伸强度的影响, 预测了最大拉伸强度和最佳工艺条件, 与实验结果具有很好的一致性。

关键词 纤维增强尼龙 66 注塑 熔接痕 成型工艺

在注塑过程中, 当采用多浇口或型腔中存在孔洞、嵌件, 以及制品厚度尺寸变化较大时, 塑料熔体在模具内会发生两个方向以上的流动, 当两股熔体相遇时, 就会在制品中形成熔接痕。熔接痕的存在不仅影响到制品的外观质量, 而且对制品的力学性能影响很大, 特别是对于纤维增强塑料制品的影响更为明显。

熔接痕的性质主要由熔体流动前沿的流变状态和分子聚集态结构决定, 依赖于材料特征和工艺条件。从工艺条件考虑, 影响熔接痕强度的工艺参数主要包括熔体温度、模具温度、注塑压力、注射速率等。S. C. Malguarnera 等^[1]考察了熔体温度、模具温度、注射速率和注塑压力对聚苯乙烯 (PS)、抗冲 PS、聚丙烯 (PP) 等热塑性塑料熔接痕拉伸强度的影响, 认为对于玻璃化聚合物和表现出屈服现象的无定形聚合物, 熔体温度和模具温度是影响熔接痕拉伸强度的主要因素, 而注射速率和注塑压力影响不大。R. Selden^[2]对 35% 玻纤增强尼龙 6 (PA6)、40% 玻纤增强聚苯硫醚 (PPS)、40% 滑石粉填充 PP、聚苯醚 (PPO) 和 (丙烯腈/丁二烯/苯乙烯) 共聚物 (ABS) 等材料在不同的保压压力、注射速率、熔体温度和模具温度下进行了弯曲、拉伸和冲击测试, 发现对于不同的材料和不同的工艺条件, 热熔接痕强度的变化范围为 25% ~ 98%, 而热熔接痕强度的变化范围为 90% ~ 100%, 甚至超过无熔接痕的强度。模具温度对熔接痕的影响与材料有关, 对于无定形聚合物, 模具温度对熔接痕的影响不大, 甚至没有影响; 而对于结晶性塑料, 熔接痕的性能对模具温度非常敏感^[3]。G. Titomanlio^[4]发现熔接痕强度对注射时间非常敏感, 它会随着注射时间的缩短而增强。

笔者将按照 Taguchi 实验参数设计方法^[5]设计实验矩阵^[6], 研究熔体温度、注塑压力、保压压力和注射速率等工艺条件对 33% 玻纤增强 PA66 (Zytel

70G33L) 注塑件熔接痕性能的影响, 分析各工艺因素的影响程度, 通过优化工艺条件使注塑件熔接痕的拉伸强度达到最大值。

1 实验部分

1.1 实验材料

33% 玻纤增强 PA66: Zytel 70G33L, 美国杜邦公司。

1.2 实验设备、模具与试样

注塑机: CJ80 - E 型, 广东顺德震德塑料机械厂有限公司;

万能材料试验机: Instron 5585 型, 英国 Instron 公司;

实验模具: 实验模具图见图 1。

试样尺寸按 ASTM D 638 - 91 制作, 见图 2。

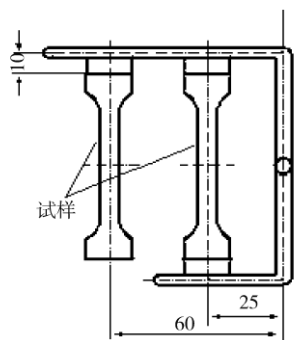


图1 实验模具图

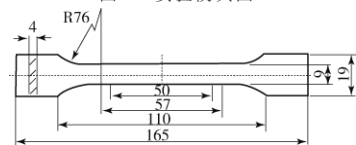


图2 试样尺寸

实验时的拉伸速度为 5 mm/min, 在每一个工况下均采用 5 个试样。

^{*} 河南省自然科学研究项目 (2003430207) 和河南省青年骨干教师资助项目

收稿日期: 2003-11-17

1.3 Taguchi 实验设计

Taguchi 方法认为引发产品质量波动的因素可分为诸如材料选取、熔体温度、注射速率等可控因素,以及环境温度、工艺误差等噪声因素两种,而噪声因素通常是造成产品功能特性偏离目标值的主要原因。但要寻找影响产品质量特性的噪声因素并控制这些因素的代价是昂贵的,因此应当通过控制可控因素的水平 and 组合使产品和工艺对噪声因素的敏感程度降低,以实现提高产品质量的目的。

设计 Taguchi 参数时,要确定系统中各参数的最佳组合,主要包括两部分内容:一是产品实验设计,针对产品各因子对整体性能的影响进行试验研究,利用正交实验技术确定各因子取值水平与质量性能之间的数量关系;二是对实验结果进行优选分析。根据实验数据,利用信噪比 S/N 来衡量和确定各因子在不同的水平情况下的产品质量水平,从而确定优选方案。为了优化熔接痕的强度,可采用 B 型信噪比函数来计算信噪比,它主要用于质量性能目标值越大越好的情况,最大信噪比的表达式为:

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

按照 Taguchi 方法设计 L9 正交矩阵,选择的工艺参数为熔体温度、注塑压力、保压压力和注射速度,工艺条件的实验水平为 3 个,见表 1。

表 1 实验的水平和因子

工艺参数	水平 1	水平 2	水平 3
A—熔体温度/℃	270	280	290
B—注塑压力/MPa	70	75	80
C—保压压力/MPa	60	65	70
D—额定注射速率/%	50	60	70

2 结果与分析

表 2 给出了不同工艺和水平的实验结果和信噪比计算结果。

表 2 33% 玻纤 PA66 L9 中的实验表和实验结果

序号	Y2/MPa	Y3/MPa	Y4/MPa	Y5/MPa	S/N
1	109.5	98.1	110.1	103.4	40.4
2	106.9	112.3	98.8	102.6	40.5
3	112.6	125.7	114.1	108.8	41.3
4	132.4	137.1	134.5	135.6	42.5
5	130.5	143.0	139.9	137.2	42.8
6	143.6	140.4	144.6	137.2	43.0
7	135.7	135.8	130.7	139.8	43.6
8	154.2	144.5	147.9	140.8	43.3
9	116.3	122.3	125.2	120.9	41.6

图 3 是不同工艺条件对注塑件熔接痕强度的影响。由图 3 看到 A3B2C3D2 为最大信噪比工艺组合,即注射温度 300℃、注塑压力 75 MPa、保压压力 70 MPa 及 60% 的最大注射速率。由于优化的注塑工艺组合并不包括在已有的实验中,所以可以间接地预测最佳工艺组合下的熔接痕强度。

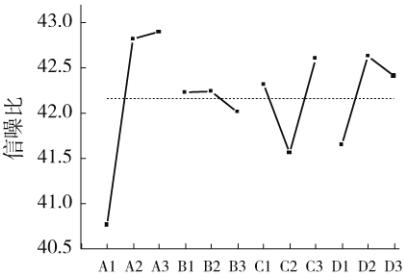


图 3 不同工艺条件对注塑件熔接痕强度的影响

假设各个工艺因素之间不相互耦合,预测的最优信噪比水平 $\eta_{A3B2C3D2}$ 可由 (1) 式计算得到,则为:

$$\eta_{A3B2C3D2} = \eta_{A3} + \eta_{B2} + \eta_{C3} + \eta_{D2} - 3\eta_{\bar{}} = 43.89 \quad (2)$$

$$Y_{Optimum} = 10^{\frac{\eta_{Optimum}}{20}} = 156 \text{ MPa} \quad (3)$$

式(2)中: $\eta_{\bar{}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \eta = 42.16$, 为 9 个实验信噪比的平均值。基于预测的最优信噪比值(43.89),由式(3)可以得到优化的熔接痕强度为 156 MPa。这个实验值显然高于 L9 中的实验值。为了验证预测结果,采用优化的工艺条件进行实验,实验结果见图 4。由图 4 可知,得到的熔接痕的平均拉伸强度为 164.99 MPa,信噪比为 44.35,略高于预测的最优信噪比,熔接痕强度得到了很好的改善。

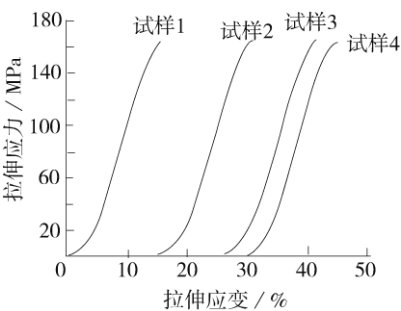


图 4 优化工艺条件下注塑件熔接痕强度实验曲线图

3 工艺分析

采用标准的变量分析技术 ANOVA^[6] 分析各个工艺参数对注塑件熔接痕强度的影响。表 3 列出了相应的计算结果,其中影响因子为每个变量的平均方差与总的平均方差的比值,其值越大说明它对熔接痕强度的影响越大,可以发现熔体温度的影响因子为 70.98%,注塑压力的影响因子为 0.82%,保压

表 3 熔接痕强度 ANOVA 分析表

因子	因子水平平均			自由度	总方差	平均 方差	影响 程度
	1	2	3				
A	40.76	42.82	42.90	2	44.008	22.004	70.98
B	42.23	42.24	42.01	2	0.507	0.254	0.82
C	42.32	41.56	42.60	2	8.688	4.344	14.01
D	41.65	42.63	42.41	2	8.146	4.073	13.14
误差				36	11.812	0.328	
合计				44	73.161		

压力的影响因子为 14.01%，注射速率的影响因子为 13.14%。

表 3 表明,对于所选择的工艺条件,熔体温度对熔接痕强度的影响是最大的,熔体温度的升高,将加速高分子链和纤维的运动、松弛、扩散和缠结,从而使分子链有较好的缠结,增加了纤维在熔接界面的穿越密度,从而提高了熔接痕处的强度。

影响熔接痕强度的第 2 个重要因素是保压压力,但这种影响不是单调的。对于纤维增强 PA66,保压压力的增加会引起熔接区的纤维取向混乱而降低熔接痕强度,但也会加强纤维在熔接界面的穿越而使熔接痕强度提高。实验中发现,当保压压力由 60 MPa 增加到 70 MPa 时,熔接痕强度降低,而由 70 MPa 增加到 75 MPa 时,熔接痕强度却是增加的。

影响熔接痕强度的第 3 个因素是注射速率,当增加注射速率时,可以降低熔体前沿的冷却效应而增加熔接痕强度,但注射速率进一步提高时会增加纤维在垂直与流动方向和熔接表面的取向,从而降低熔接痕强度。注塑压力的变化与注射速率具有相似的物理背景。

图 5 给出所选择的 4 个工艺因素对有熔接痕和无熔接痕试样拉伸强度的影响程度比较直方图。由图 5 可以看到,工艺条件对制品性能的影响与制品成型过程的物理场变化是密切相关的,某些工艺因素可能会提高熔接痕区域的强度,但有可能降低别的区域的强度。即使具有相同的增强效应,它们

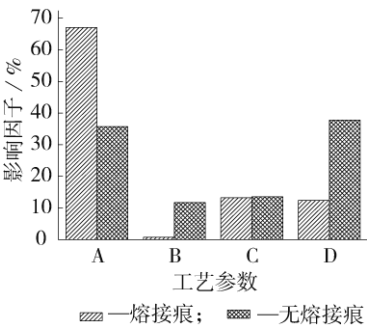


图 5 工艺条件对有熔接痕和无熔接痕注塑件的影响程度对制件各个区域的影响程度也不同。

4 结论

按照 Taguchi 发展的实验参数设计方法设计了 L9 实验矩阵。用信噪比 S/N 来衡量产品的质量水平,利用标准变量分析技术 ANOVA 分析了工艺因素对有熔接痕和无熔接痕试样拉伸强度的影响程度,考察的工艺因素为熔体温度、注塑压力、保压压力和注射速率。研究发现,对于有熔接痕试样,熔体温度的影响因子为 70.98%,注塑压力的影响因子为 0.82%,保压压力的影响因子为 14.01%,注射速率的影响因子为 13.14%。在此基础上,预测了最大拉伸强度和最佳工艺条件,通过与实验结果比较证明两者具有很好的一致性。

参考文献

1 Malguamera S C, Manisali A. Effects of processing parameters on the tensile properties of weld lines in injection molded thermoplastics. *Polymer Engineering and Science*, 1981, 21(10) : 586

2 Selden R. Effect of processing on weld line strength in five thermoplastics. *Polymer Engineering and Science*, 1997, 37(1) : 205

3 Piccarolo S, Rallis A, Titomanlio G. Effect of injection moulding conditions on knit-line formation. *Plastics and Rubber Processing and Applications*, 1987, 8(3) : 181

4 Titomanlio G, Piccarolo S, Rallis A. Knit lines structure in injection molding of nylon 6: Relation to first solidified sample cross section. *Polymer Engineering and Science*, 1989, 29(4) : 209

5 Peace G S. *Taguchi Methods*. New York: Addison-Wesley, 1993.

6 Phadke M S. *Quality Engineering Using Robust Design*. New Jersey: Prentice-Hall, 1989.

OPTIMIZATION OF PROCESS TECHNOLOGY TO STRENGTHEN WELD LINES IN FIBER-REINFORCED PA66 INJECTION MOLDING

Yang Yang, Dong Binbin, Liu Chuntai
(APPT NERC, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

ABSTRACT A L9 experimental matrix design based on Taguchi method was conducted to reslove the defect of weld lines in fiber-reinforced PA66 injection molding. The effect of factors such as injection pressure, melt temperature, injection rate and packing pressure on the tensile strength of weld lines was analyzed. The optimum tensile strength and processing conditions were predicted and a good agreement with the experimental results was obtained.

KEYWORDS fiber-reinforced PA66, injection molding, weld lines, process technology