

工艺参数及交互作用对塑料件收缩异向性影响的研究^{*}

路书芬^{1,2} 王利霞² 金长虹¹ 李富波¹

(1. 郑州电力高等专科学校机电工程系, 郑州 450004; 2. 郑州大学橡塑模具国家工程研究中心, 郑州 450002)

摘要 采用部分因子实验设计法,考察了工艺参数对一维流动平板在平行流动方向和垂直流动方向上收缩的交互影响。通过交互作用图筛选了重要的交互影响,并基于影响度来分析各参数及重要交互作用对制品质量的影响程度。实验证明,因子之间的两两交互作用对制品质量的影响是不可忽略的,在分析工艺参数对注塑制品收缩的影响时,应该考虑收缩的异向性。

关键词 注射成型 CAE 析因设计 两两交互作用 收缩

注射成型适用于大批量生产形状复杂、尺寸要求精确的塑料件。工艺参数对注塑制品质量的影响较为复杂,以往对于工艺参数的研究往往考虑了单个因素的影响,事实上各因素之间的交互作用对制品质量的影响也是不可忽略的。收缩是塑料件重要的质量指标,过去对收缩的研究侧重于体积收缩,而对于收缩的各向异性研究甚少。

笔者采用析因设计研究工艺参数及其交互作用对一维流动平板不同流动方向上收缩性能的影响。析因设计较 Taguchi DOE 而言不仅可以分析单个因子对实验目标的影响,而且可以研究各因子之间的交互作用。

1 实验设计理论

析因设计^[1]又称要因设计,属于因子筛选性实验,即多因子少水平实验。广泛应用于涉及多因子的实验。在实验中,必须研究因子对响应的交互效应。可以分为全因子实验和部分因子实验。全因子实验在实验过程中考虑了实验因子及实验因子之间所有的交互作用,这样实验次数就会剧烈增加。而部分因子实验只考虑了实验因子及两两因子之间的交互作用。当实验因子很多,就可以有效地运用筛选程序,选择代表性强的实验。部分因子实验所需要的实验次数 N 如式(1)所示:

$$N = m_1 n^{k-q} \quad (1)$$

式中: k ——所研究的实验因子个数;

n ——实验水平;

m_1 ——实验重复的次数;

q ——部分收缩度,随着 q 的增加实验次数会降低。

因子之间是否有交互影响可通过交互作用图来反映,交互作用示例图如图1所示。在交互图中当横坐标的一个实验因子从低水平过渡到高水平时,

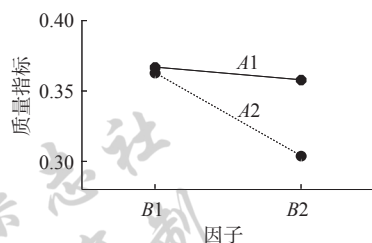


图1 因子A与B的交互作用图

该因子对指标的影响度如果随着另外一个因子在它的实验范围内有较大改变,那么这两个因子之间存在交互作用^[1]。即如图1中两直线不平行,则这两个因子之间存在交互作用。

析因设计实验中,如果仅考虑某一因子而不考虑其他变化,那么这种情况下得到的该因子效应,称为该因子的主效应。在实验中,一个实验因子与其他实验因子可能有相互促进或相互抑制等相互影响关系,这种除主效应外因子间相互影响的大小叫做交互效应,两个因子之间的交互效应称为二因子交互效应,三因子之间的交互效应称为三因子交互效应。

部分因子实验通过分析主效应和交互效应对整体测量响应的相对贡献来筛选主要参数及主要交互影响。计算公式如下^[2]:

$$E_j = \frac{\sum_{i=1}^n (l_{ij} \times R_i)}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad (2)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m)$$

$$I_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^n [l_{ij} \times l_{ik} \times R_i]}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad (3)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2, \dots, m)$$

* 河南省教育厅自然科学研究计划资助项目(2008C430002)

收稿日期:2009-07-04

式中: E_j ——第 j 个因子对实验目标的主效应;
 n ——实验总次数;
 i ——实验序号;
 m ——实验因子总数;
 j, k ——实验因子序号;
 I_{jk} ——第 k 个因子与第 j 个因子之间的交互效应;
 R_i ——第 i 次实验的响应。
 l_{ij} 等于 -1 时表示第 j 个因子的低水平, 等于 $+1$ 表示该因子的高水平。

$$\sum_{i=1}^n l_{ij} = 0$$

$(j = 1, 2, \cdots, n)$

2 结果与讨论

2.1 实验安排

本实验材料选用无定型(丙烯腈/丁二烯/苯乙烯) 共聚物(ABS), 模型采用一长方形平板, 为研究收缩的各向异性, 制件采用了薄膜式浇口以保证一维流动。

模具型腔设计尺寸见图 2, 制品形状如图 3 所示。图 4 为制品的短射实验结果。由图 4 可见, 制

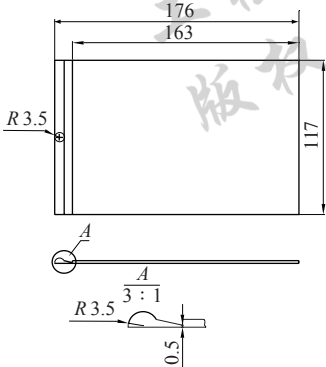


图2 模具型腔尺寸

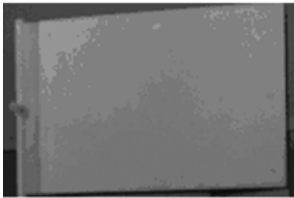


图3 制品形状图

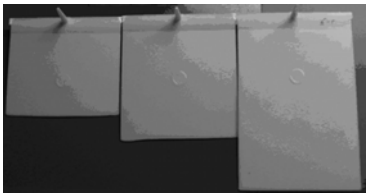


图4 平板一维流动过程

品获得了很好的一维流动效果。

确定实验因子和水平, 选择合适的正交表。工艺窗口是预先在注塑机上调试出来的合理的成型范围。实验因子及水平见表 1, 根据式(1) 取 $m_1 = 1, q = 1$, 选取了 $L_{16}(2^5)^{[3]}$ 正交表, 见表 2。考虑到收缩是注塑制品质量的重要指标^[4], 收缩及收缩不均匀会导致制品产生翘曲, 严重影响制品的尺寸及形状, 笔者选用了不同流动方向上的线收缩率为质量指标, 依照正交实验矩阵进行数值实验, 实验结果见表 2。

表 1 因子水平表

实验因子	保压压力 A / MPa	保压时间 B / s	熔体温度 C / ℃	模具温度 D / ℃	注塑压力 E / MPa
水平 1	30	2	220	40	80
水平 2	50	4	240	60	90

表 2 $L_{16}(2^5)$ 正交表及实验结果

实验序号	A	B	C	D	E	垂直流动方向 收缩率 / %	平行流动方向 收缩率 / %
1	1	1	1	1	2	0.436	0.584
2	2	1	1	1	1	0.455	0.546
3	1	2	1	1	1	0.414	0.563
4	2	2	1	1	2	0.431	0.526
5	1	1	2	1	1	0.383	0.541
6	2	1	2	1	2	0.342	0.480
7	1	2	2	1	2	0.400	0.573
8	2	2	2	1	1	0.251	0.345
9	1	1	1	2	1	0.313	0.475
10	2	1	1	2	2	0.335	0.438
11	1	2	1	2	2	0.301	0.470
12	2	2	1	2	1	0.291	0.396
13	1	1	2	2	2	0.335	0.502
14	2	1	2	2	1	0.318	0.487
15	1	2	2	2	1	0.316	0.490
16	2	2	2	2	2	0.242	0.354

2.2 交互作用分析

由表 2 可得 5 个实验因子之间的两两交互作用关系, 如图 5、图 6 所示。图 5、图 6 中单元格内图形即为其上侧及左侧两因子之间的交互作用图。其中实线代表左侧实验因子低水平时, 上侧实验因子从低水平过度到高水平时的测量指标平均值的变化, 虚线代表左侧因子高水平时, 上侧因子从低水平过度到高水平时的测量指标平均值的变化。

根据图 5、图 6 可知, 工艺参数对平板不同流动方向上收缩率影响均存在以下明显交互作用: ①保压压力 A 和保压时间 B 之间存在明显的交互作用。在不同保压压力下, 收缩率均随保压时间的增加而降低, 并且在高的保压压力下其趋势更为明显, 出现了交互作用。②保压压力 A 和熔体温度 C 之间存

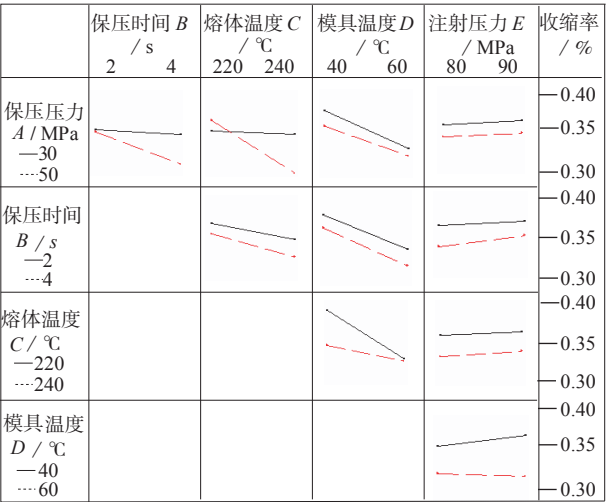


图5 平板垂直流动方向上工艺参数的两两交互作用

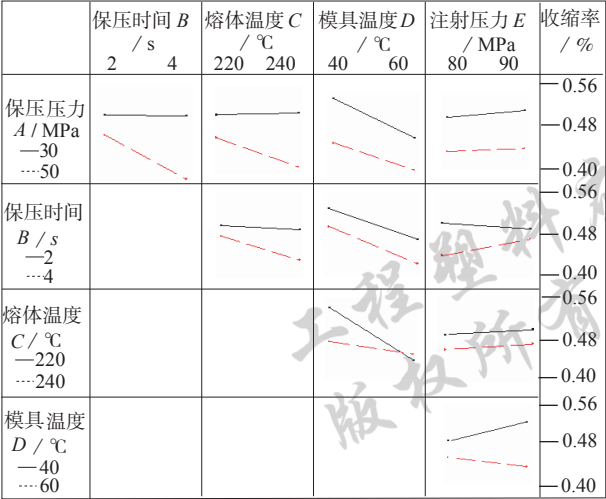


图6 平板平行流动方向上工艺参数的两两交互作用

在明显的交互作用,在不同保压压力下,收缩率均随熔体温度的升高而降低,并且在高的保压压力下其趋势更为明显,出现了交互作用。垂直流动方向上,在高熔体温度下,保压压力增大收缩率明显降低,而熔体温度较低时则出现高保压压力下收缩率略高的现象。③熔体温度*C*和模具温度*D*之间存在明显的交互作用。不同熔体温度下,不同流动方向上收缩率均随模具温度升高而降低。在较低熔体温度下其下降趋势更明显。

2.3 主效应及交互效应分析

根据式(2)、式(3)可得各因子及其主要交互作用对不同流动方向上收缩率影响的效应图,如图7、图8所示。

效应值为正表示随该因子增加制品收缩率增加,为负表示随该因子减小制品收缩率减小,而效应值的绝对值则反应了因子对测量指标的影响程度。

从图7、图8可以看出,在垂直流动方向上,因

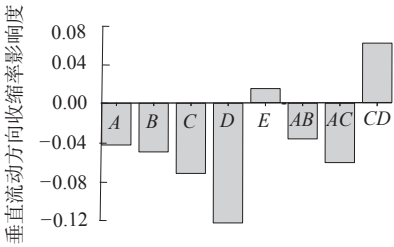


图7 垂直流动方向上工艺因子及其交互作用效应图

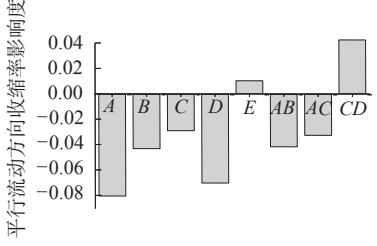


图8 平行流动方向上工艺因子及其交互作用效应图

子对收缩率的影响顺序为:*D* > *C* > *CD* > *AC* > *B* > *A* > *AB* > *E*,由于交互作用(*AC*)的存在,使得熔体温度对收缩率的影响增加。在平行流动方向上,因子对收缩率变化的影响顺序为:*A* > *D* > *B* > *CD* > *AB* > *AC* > *C* > *E*,由于交互作用(*AB*)的存在,使得保压压力对收缩率的影响增大。

由此可以看出,个别因子的交互作用甚至比单个因子对实验目标的影响作用更大,因此在一定情况下交互作用也是不可忽略的因素。在不同流动方向上工艺参数对制品收缩的影响也不尽相同。

3 结论

- (1) 利用析因设计可筛选与实验目标相关的重要因子和交互因子,避免依靠经验选取实验因子的盲目性和不可靠性。
- (2) 利用部分因子实验,并考虑到主要因子及两两因子交互作用,实验证明因子之间的两两交互作用对制品质量的影响甚至可以超过某些单个因子的影响,是不可忽略的。
- (3) 分析工艺参数对注塑制品收缩的影响关系时,应该考虑收缩的异向性。在不同流动方向上,实验因子对测量指标的影响关系不尽相同。
- (4) 在工艺参数对制品收缩影响的进一步详细实验中,本研究结果可作为筛选重要影响因子及交互作用的依据。

参考文献

[1] Montgomery D C. Design and analysis of experiments[M] .北京:中国统计出版社,1998 .
[2] Keun Park, Ahn Jong Ho. Design of experiment considering two-way interactions and its application to injection molding processes with numerical analysis[J] . Journal of Materials Processing Tech-

nology, 2004, 146(2): 221-227.

[3] 栾军. 现代实验设计优化方法[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1995.

[4] 王利霞, 杨扬, 王蓓, 等. 注塑成型工艺参数对制品的体积收缩率变化的影响及工艺参数优化[J]. 高分子材料科学与工程, 2004, 20(2): 173-176.

STUDY ON PROCESSING PARAMETERS AND INTERACTION OF SHRINKAGE ANISOTROPY OF INJECTION MOLDED PARTS

Lu Shufen, Wang Lixia, Jin Changhong, Li Fubo

(1. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Zhengzhou Electric Power College, Zhengzhou 450004, China;

2. National Engineering Research Center of Advanced Polymer Process Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

ABSTRACT The influences of processing parameters on a flat shrinkage of different direction and the two-way interactions are considered using fractional factorial design of experiments. Important interactions are selected based on the interactions figure, and the significances of each factor and interaction are analyzed by the main effects of factors and interactions. Experiment proves that the effect of processing parameters interaction on the part quality shouldn't be ignored, and the anisotropy should be considered, when analyzing the influence of processing parameters on the part shrinkage.

KEYWORDS injection molding, CAE, fractional factorial, two-way interaction, shrinkage

全球包装机械市场将突破 400 亿美元

据最新报告显示, 全球包装机械市场的规模将在 2012 年达到 403 亿美元。据了解, 随着包装逐渐演变成一种营销工具以及消费者对包装便捷性和产品信息需求的不断提高, 包装机械市场也取得了长足的发展。产品和技术创新、提高设备标准化水平以及提高消费者对包装的关注度已经成为包装行业近年来呈现的三大发展趋势。

工业国家人口老龄化的不断加剧以及东欧、亚太和拉丁美洲等发展中国家的日益富裕也在一定程度上刺激了市场对消费品、药品和美容产品包装的需求。

增值包装作为全球市场上发展最快的一种包装形式, 将推动市场对新型和高效包装机械需求的增长。

此外, 随着新技术的不断涌现, 复杂包装材料的开发、新的食品消费趋势的出现以及包装设计、形状、重复利用率、尺寸和便捷性的变化也将对机械市场的结构和表现产生深远的影响。

据 Global Industry Analysts 公司预测, 欧洲包装机械市场作为世界上最大的包装机械市场之一, 将在 2012 年达到 127 亿美元的市场规模。而美国和欧洲市场将占到全球包装机械市场的 60% 左右, 全球制袋-充填-封合机的市场规模将在 2012 年达到 53 亿美元。

此外, 在 2000~2010 年期间, 亚太地区的喷码/贴标机市场将达到 8.6% 的年均复合增长率。(慧聪网)

云天化巨资研发聚甲醛和新材料

云南云天化股份有限公司董事会上周通过决议, 将投资 1.2 亿元在其重庆研发中心建设 1 万 t/年改性工程塑料项目和 1500 万平方米/年高性能微孔隔膜的研发项目。

云天化此次投资的目的是提升公司聚甲醛和新材料的研发能力, 增强其在聚甲醛和新材料领域的核心竞争力, 并通过微孔隔膜等先进材料的研发, 为企业将来进入新能源领域奠定基础。

该项目建成后预计可实现年销售收入 2.5 亿元(不含税), 年均利润 8000 万元, 具有很好的经济效益和投资回报。(烨)

扬子石化高流动透明 PP 攻占塑料新市场

继扬子石化塑料厂聚丙烯 1PP 装置完成新品开发任务后, Innovene 气相法聚丙烯工艺装置(2PP 装置)又按计划实施新产品开发, 经过努力, 首次试生产无规透明聚丙烯 B4902, 并在 B4902 的基础上生产高流动性透明聚丙烯 YPJ420G, 又一次成功的攻占了塑料新市场。

高流动无规透明聚丙烯具有透明性高、流动性好、注塑周期短、成型快、刚韧平衡等优点, 适合于薄壁及大型或复杂零件注塑、DVD 和 CD 的包装, 同时具有翘曲率低、抗冲击性能好等特点。突破了传统的透明塑料(如 PET、PS、PC 等)价格高、加工难度大、市场受限等因素。

此次 2 套聚丙烯装置首次试生产高流动性透明聚丙烯 YPJ420G 获得成功, 完全满足产品质量指标, 和市场上同类产品相当。(工塑网)

盛大科技新建 PVC 添加剂新厂

在中国建筑与汽车市场需求日益增长的推动下, 塑料与橡胶添加剂生产商盛大科技集团将于本月在山东淄博建成一座新厂。

盛大科技的总部位于上海, 自称是中国最大的纳米沉淀碳酸钙(NPCC)生产商之一。该公司说, 受政府出台的 4 万亿元人民币(5860 亿美元)的经济刺激计划的推动, PVC 窗型材和其他塑料建筑产品、汽车轮胎和各类聚乙烯材料对 NPCC 的需求日益增长。

盛大科技集团在美国纳斯达克证交所上市。该公司在 2009 年 8 月 11 日提交给美国证券交易委员会的呈报中说, 淄博新厂到年底将建立起 25 万 t 的 NPCC 产能, 使其总产能数增长 30% 以上。该公司称, 新厂投资额约为 6000 万美元(4.103 亿元人民币)。(中聚网)