

文章编号: 1001-0920(2011)01-0120-03

基于主动空间映射的注塑过程参数优化方法

刘 阳^a, 王福利^{a,b}, 常玉清^{a,b}, 李 闯^a

(东北大学 a. 信息科学与工程学院, b. 流程工业综合自动化教育部重点实验室, 沈阳 110819)

摘 要: 为了降低注塑过程参数优化方法在优化过程中付出的实验代价, 提出将广泛应用于电路设计优化问题的主动空间映射方法应用于注塑过程参数优化问题, 利用带惩罚项的参数提取方法解决迭代过程中存在的参数提取结果不唯一的问题. 该方法利用不精确模型的结果以及少量的实验结果, 获得使制品满足尺寸指标的过程参数, 从而减少实验代价. 通过在 Moldflow 仿真平台上的仿真及结果分析, 表明了方法的有效性.

关键词: 注塑; 参数优化; 空间映射; 参数提取

中图分类号: TQ320.63

文献标识码: A

Parameter setting optimization in injection molding process using aggressive space mapping

LIU Yang^a, WANG Fu-li^{a,b}, CHANG Yu-qing^{a,b}, LI Chuang^a

(a. College of Information Science and Engineering, b. Key Laboratory of Integrated Automation of Process Industry of Ministry of Education, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Correspondent: LIU Yang, E-mail: lmr@sina.com)

Abstract: Aggressive space mapping algorithm is investigated to optimize injection molding parameter for saving time and experiment costs. Penalty term is used to guarantee the uniqueness of result of parameter extraction in each iteration. Optimal injection molding parameter related to size index is obtained by using fewer experiment results and information of coarse model. Time and experiment costs are saved. Experiments on Moldflow analysis software show the effectiveness of the algorithm.

Key words: plastic injection molding; parameter optimization; space mapping; parameter extraction

1 引 言

通过调整注塑过程中主要参数的设定值, 能够有效提高注塑制品的质量, 进而满足人们对其质量的要求. 目前, 为了获得生产合格制品的注塑过程参数设定值, 一部分研究人员采用基于实验设计的方法^[1-3], 这需要操作人员首先确定过程参数的范围, 然后设定用于实验设计的各个过程参数的水平. 这类方法受过程参数水平疏密程度的影响较大, 若水平设定过于细致, 则需要付出较高的实验代价; 若水平设定过于粗糙, 则无法获得用于生产合格制品的参数设定值. 通常情况下, 利用该类方法解决注塑过程参数优化问题需要建立在大量实验结果的基础上. 也有相当一部分研究人员采用基于模型的方法, 以建立注塑过程参数与质量指标之间关系模型为基础, 利用智能优化方法

获得生产合格制品的参数设定值^[4-6]. 基于模型的方法在建模过程中主要采用基于机理分析的方法或基于数据驱动的方法. 其中, 基于机理分析的方法在建模过程中引入大量假设, 因此, 这类方法的输出结果与实际结果之间存在一定的差异, 无法直接代替注塑生产过程解决注塑过程参数优化问题. 基于数据驱动的方法则需要通过实验获得数据, 由于注塑过程参数与质量指标之间关系的复杂性与非线性, 需要大量实验数据建立精确的模型. 需要的实验数据越多, 相应的在参数优化过程中付出的代价越高. 因此, 减少参数优化过程中的实验次数是降低该过程中付出代价最直接的方法, 具有相当重要的意义.

空间映射方法^[7-10]已广泛应用于电磁优化问题, 它利用简单且计算速度快的粗糙模型和少量复杂且

收稿日期: 2010-01-12; 修回日期: 2010-04-02.

基金项目: 国家自然科学基金项目(60774068); 国家 973 计划子课题项目(2009CB320601).

作者简介: 刘阳(1979-), 男, 博士生, 从事工业过程建模与参数优化的研究; 王福利(1957-), 男, 教授, 博士生导师, 从事工业过程建模与控制等研究.

计算速度慢的精确模型实验结果,有效改善了电路设计优化问题中普遍存在的由于建立精确模型所付出代价很高的问题.因为注塑过程参数优化问题与电路设计优化问题具有一定的相似性,所以,本文提出将空间映射方法应用于注塑过程参数优化问题,旨在降低注塑过程参数优化过程中付出的代价.

2 注塑过程参数优化问题

注塑是生产塑料制品的主要方法,塑料原料在注塑机中经过塑化、注射、保压以及冷却等环节,形成种类繁多且性能各异的注塑制品.在这些环节中,熔体温度、模具温度、注射速度、保压压力、保压时间以及冷却时间等因素均不同程度地影响注塑制品的质量.其质量好坏由注塑制品质量指标反映,包括:尺寸质量指标、外观质量指标、机械以及光学质量指标等,注塑制品合格情况通过对比注塑制品的质量指标值与合格标准来衡量.因此,注塑过程参数优化问题为如下所示的最优化问题:

$$x^* \triangleq \arg \min_x (S - R(x))^2. \quad (1)$$

其中: S 为合格指标值, $R(x)$ 为当过程参数值为 x 时对应的质量指标值.式(1)的目标是使待求的过程参数对应的质量指标值逼近合格指标值.

3 基于主动空间映射的注塑过程参数优化方法

初始空间映射方法由 Bandler 等人^[7]提出,该方法是最早的空间映射方法.但是,该方法假设粗糙模型参数空间与精确模型参数空间之间满足线性关系,其应用范围受到较大的限制.主动空间映射方法由 Bandler 等人^[8]在初始空间映射方法的基础上提出,该方法从第1次获得精确模型结果开始到最后,每次的精确模型结果均参与了参数抽取和两模型参数空间映射关系的建立,并预测下一个改善的精确模型新设计参量,因此精确空间设计参量是自适应步进,逐渐逼近精确模型设计参量.该算法结合了应用古典 Broyden 公式的拟牛顿迭代法,能够解决非线性映射问题,适应范围较广.主动空间映射方法首先需要确定一个粗糙模型,结合注塑过程参数优化问题,由于基于机理分析方法建立的模型的输出结果与实际结果之间存在一定的差异,本文将其结果作为空间映射方法中的粗糙模型结果,将实验结果作为空间映射方法中的精确模型结果.假设粗糙模型参数空间与精确模型参数空间之间存在映射为

$$x_c = P(x_f). \quad (2)$$

其中: x_c 为粗糙模型参数, x_f 为精确模型参数.式(2)使得两模型参数空间对应的响应值匹配为

$$R_c(P(x_f)) \approx R_f(x_f). \quad (3)$$

主动空间映射方法通过使下式中 f 趋近于零,进而隐式地求解两模型参数空间之间的映射关系

$$f = f(x_f) \triangleq P(x_f) - x_c^*. \quad (4)$$

该方法建立在 R_c 与 R_f 具有一定相似性的基础上,对于注塑过程而言,由于机理模型是建立在基本方程的基础上,其结果与实验结果具有一定的相似性,满足上述条件.精确模型参数空间中的最优解通过迭代的方法获得,在第 j 次迭代过程中,利用误差向量以及牛顿迭代公式获得精确模型中参数的迭代步长 $h^{(j)}$,即

$$B^{(j)}h^{(j)} = -f^{(j)}, \quad (5)$$

其中 $B^{(j)}$ 代表对映射 P 的雅克比矩阵的估计.迭代过程中,利用 Broyden 秩一公式对其进行更新,有

$$B^{(j+1)} = B^{(j)} + \frac{f^{(j+1)} - f^{(j)} - B^{(j)}h^{(j)}}{h^{(j)T}h^{(j)}}h^{(j)T}. \quad (6)$$

上述误差向量中的 $P^{(j)}(x_f^{(j)})$ 由参数提取方法获得,参数提取方法是空间映射方法中的重要组成部分^[11],实现在粗糙模型参数空间中搜索与精确模型响应值相匹配的参数.但是,由于注塑过程的复杂性,参数提取结果不唯一,从而导致空间映射方法失效.该问题同样也存在于电路设计优化问题中.针对该问题, Bandler 等人^[12]提出一种引入惩罚项的方法,即

$$x_c^{(j)} \triangleq \arg \min_{x_c} \|R_f(x_f^{(j)}) - R_c(x_c)\| + \omega \|x_c - x_c^*\|. \quad (7)$$

该方法引入惩罚项,使得参数提取结果指向满足 $x_c^{(j)} \rightarrow x_c^*$ 的方向,并使得参数提取结果中越接近最优解的结果越有利,有效解决了参数提取结果不唯一的问题.

4 仿真及结果分析

在注塑制品参数优化问题中,对平面薄片制品的研究非常普遍,且在注塑制品的诸多质量指标中,尺寸指标受到研究人员的重视.其通过制品收缩的大小反映制品质量,利用设定的合格指标值衡量制品质量.因此,本文将如图1所示的工形注塑制品的宽度方向上尺寸的收缩作为质量指标,对注塑制品过程参数进行优化.图1中工形注塑制品宽度方向上的尺寸为80 mm,本文设定0.77 mm为尺寸收缩的合格指标值.

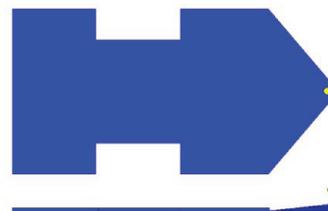


图1 工形注塑制品

在注塑过程中,影响尺寸收缩的因素有很多,其中,注射速度、保压压力以及模具温度对其影响较明显,因此,本文将作为优化尺寸收缩的过程参数,并根据经验设定这些参数的范围如表 1 所示。

表 1 注塑过程参数及其范围

参数名称	参数下限	参数上限
注射速度	25	35
保压压力	60	80
模具温度	35	45

Moldflow 6.0 是目前常用的模流分析软件,该软件利用有限元分析方法,首先对制品模型进行网格划分,针对不同尺寸的网格,提供不同精度的仿真结果。网格划分的尺寸越小,仿真结果越接近真实值,误差越小,但其计算速度也越慢;反之,则误差较大,但计算速度明显提高。尽管如此,它们之间仍然存在较大的相似性。本文利用 Moldflow 模流分析软件的这一特点,将较大尺寸网格对应的仿真结果作为粗糙模型结果,将较小尺寸网格对应的仿真结果作为精确模型结果。其中:较大网格的尺寸设为 8 mm,较小网格的尺寸设为 3 mm。在应用上述方法的过程中,有必要对方法中的终止条件作以下说明:通常在实际应用过程中无法连续调节注塑过程的参数,因此,无法保证其响应值与合格指标值完全一致。但为了保证响应值与合格指标值足够接近,本文将式(1)所示的优化问题转化为如下形式:

$$|S - R(x)| < \varepsilon, \quad (8)$$

其中 ε 为人为设定的足够小的常数,本文设为 0.003。参数提取过程中 ω 的选取对参数提取结果影响较大:若 ω 选取过大,则惩罚项在参数提取结果中所占比重较大,从而导致参数提取结果不准确;若 ω 选取过小,则惩罚项未起到应有的作用。本文通过多次实验的方法将其值设为 0.01。

表 2 为将本文方法应用于注塑过程参数优化问题所得到的实验数据及结果。表 2 中,第 1 列表示在精确模型中进行的实验次数,第 2 列~第 4 列表示迭代过程中获得的注塑过程参数,最后 1 列为对应参数下的尺寸收缩值。表 2 中第 1 行为粗糙模型中的最优参数,表明粗糙模型中的最优参数并非精确模型中的最优参数,该结果说明粗糙模型与精确模型之间存在一定的差异,无法直接用于解决注塑过程参数优化问题。当迭代到第 7 次实验时,利用主动空间映射方法获得在精确模型参数空间中满足式(9)的参数。

表 3 为利用 3 因子 3 水平正交实验设计方法得到的实验数据及结果。通过对表 3 中数据的分析可知,当注射速度为 30 mm/s,保压压力为 70 MPa,模具温度为 45 °C 时,生产出的注塑制品质量指标值与设定值最

表 2 主动空间映射方法结果

实验编号	注射速度	保压压力	模具温度	尺寸收缩
1	26	72	39	0.7792
2	25	74	38	0.7769
3	27	72	40	0.7752
4	25	70	38	0.7764
5	25	72	36	0.7749
6	25	74	35	0.7734
7	25	76	35	0.7683

表 3 正交实验设计表及其结果

实验编号	注射速度	保压压力	模具温度	尺寸收缩
1	25	60	35	0.7872
2	30	60	40	0.7829
3	35	60	45	0.7809
4	25	70	40	0.7781
5	30	70	45	0.7736
6	35	70	35	0.7651
7	25	80	45	0.7462
8	30	80	35	0.7614
9	35	80	40	0.7566

为接近。

表 2 和表 3 中的数据表明,本文方法有效利用了粗糙模型的信息,使得该方法不仅在实验次数方面较正交实验设计方法中所用的实验次数少,而且能够针对指定的尺寸收缩合格指标值给出更为准确的注塑过程参数。不仅如此,与利用数据建模并获取注塑过程参数的方法相比,本文方法仅利用 7 次精确模型的实验结果,有效减少了实验次数,从而降低了注塑过程参数优化过程中付出的代价。

5 结 论

本文针对注塑过程参数优化方法中存在的付出代价较高的问题,提出了将广泛应用于电路设计优化问题中的空间映射方法应用于注塑过程参数优化问题。通过与传统正交实验设计方法的比较,表明了本文方法的有效性。但是,本文方法仅针对平面薄片制品的尺寸指标进行研究,由于注塑制品及其质量指标的多样性,可以对其作进一步的研究。

参考文献(References)

- [1] Erzurumlu T, Ozcelik B. Minimization of warpage and sink index in injection-molded thermoplastic parts using Taguchi optimization method[J]. Materials and Design, 2006, 27(10): 853-861.
- [2] Oktem H, Erzurumlu T, Uzman I. Application of taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part[J]. Materials and Design, 2007, 28(4): 1271-1278.