

基于 Moldflow 和 BP 神经网络的超薄塑料制品流程长度预测

赖 鹏

(广东省惠州市质量计量监督检测所, 惠州 516003)

摘要 基于 Moldflow/MPI 软件, 结合正交试验, 研究了注塑压力、注射速率、模具温度、熔体温度、保压压力、保压时间等 6 个重要工艺参数对超薄塑料制品注塑流程长度的影响规律。然后建立一个三层 BP 神经网络, 仿真结果表明, 利用该神经网络模型, 可预测超薄塑料制品的流程长度。

关键词 Moldflow BP 神经网络 超薄塑料制品 流程长度

一般来说, 超薄注射成型通常是指成型壁厚小于 1 mm 或流程长径比超过 100 的塑料制品的注射成型工艺^[1]。影响超薄制品注射成型的因素很多, 主要包括注塑机、成型模具以及各种工艺参数等。

目前, 关于注射成型工艺参数对超薄塑料制品成型影响的研究并不多见。笔者首先利用 Mold-flow/MPI 软件对超薄塑料制品进行模流分析, 结合正交试验法研究几个重要的工艺参数对流程长度的影响规律。然后建立一个三层 BP 神经网络, 利用正交试验的实验数据作为学习训练样本, 对超薄塑料制品的流程长度进行预测。

1 注塑工艺参数对超薄塑料制品流程长度的影响

1.1 超薄塑料制品建模及网格划分

Moldflow/MPI 软件模拟所用的超薄塑料制品为长×宽×厚为 320 mm×10 mm×0.6 mm 的矩形试样。材料选用聚苯乙烯(PS)。采用 Pro/E 软件进行 CAD 建模。实体模型建完后, 将其通过 MDL 导入到 MPI 模块中。采用 Midplane 网格对制品进行网格划分, 三角形单元数为 2 861, 节点数为 1 712, 平均纵横比为 1.65。

1.2 正交试验设计

根据超薄塑料制品的注射成型要求, 考察的 6 个工艺参数分别为: 注塑压力、注射速率、模具温度、熔体温度、保压压力和保压时间。其中模具温度和熔体温度范围是在参考了 Moldflow/MPI 软件推荐的成型温度范围之后确定的, 而注塑压力、注射速率、保压压力和保压时间 4 个工艺参数的范围则是参考材料的注塑加工工艺范围, 根据该矩形试样多次填充模拟获得, 保证试样不能被完全充满, 以便于测量流程长度来进行对比分析, 其中保压压力一般设置为注塑压力的 80%~85%。六因素五水平的正交试验安排见表 1。模拟工艺按照 $L_{25}(5^6)$ 正交表进行设置, 共 25 组工艺参数组合, 如表 2 所示。

表 1 六因素五水平的正交试验

水平	注塑压力 /MPa	注射速率 / cm ³ · s ⁻¹	模具温度 /℃	熔体温度 /℃	保压压力 /MPa	保压时间 /s
1	80	3.0	20	190	50	3.0
2	90	3.5	30	200	60	4.5
3	100	4.0	40	210	70	6.0
4	110	4.5	50	220	80	7.5
5	120	5.0	60	230	90	9.0

表 2 $L_{25}(5^6)$ 正交表和模拟分析结果

实验	注塑压力 /MPa	注射速率 / cm ³ · s ⁻¹	模具温度 /℃	熔体温度 /℃	保压压力 /MPa	保压时间 /s	流程长度 /mm
1	1	1	1	1	1	1	133.36
2	1	2	2	2	2	2	160.51
3	1	3	3	3	3	3	190.68
4	1	4	4	4	4	4	222.49
5	1	5	5	5	5	5	256.69
6	2	1	2	3	4	5	178.56
7	2	2	3	4	5	1	213.02
8	2	3	4	5	1	2	249.64
9	2	4	5	1	2	3	198.45
10	2	5	1	2	3	4	198.29
11	3	1	3	5	2	4	230.05
12	3	2	4	1	3	5	189.79
13	3	3	5	2	4	1	225.53
14	3	4	1	3	5	2	223.52
15	3	5	2	4	1	3	258.19
16	4	1	4	2	5	3	227.98
17	4	2	5	3	1	4	249.88
18	4	3	1	4	2	5	245.64
19	4	4	2	5	3	1	284.63
20	4	5	3	1	4	2	228.68
21	5	1	5	4	3	2	267.58
22	5	2	1	5	4	3	261.98
23	5	3	2	1	5	4	219.49
24	5	4	3	2	1	5	255.74
25	5	5	4	3	2	1	294.89
均值 1	192.75	207.51	212.56	193.95	229.36	230.29	
均值 2	207.59	215.04	220.28	213.61	225.91	225.99	
均值 3	225.42	226.20	223.63	227.51	226.19	227.46	
均值 4	247.36	236.97	236.96	241.38	223.45	224.04	
均值 5	259.94	247.35	239.63	256.60	228.14	225.28	
极差	67.19	39.84	27.07	62.64	5.91	6.25	

1.3 Moldflow/MPI 软件模拟分析

选用 Moldflow/MPI 软件中的 Flow 模块, 工艺参数按 $L_{25}(5^6)$ 正交表中的参数分别来设置进行模拟, 共 25 次实验模拟。每次模拟完成后, 使用 Moldflow/MPI 软件的测量工具测量矩形试样的流程长度。

1.4 结果分析

25 组工艺条件下对应的矩形试样流程长度, 以及 6 个工艺参数不同水平时对质量指标(流程长度)的极差如表 2 所示。根据极差大小得出 6 个因素对流程长度影响的重要性的主次顺序为: 注塑压力 > 熔体温度 > 注射速率 > 模具温度 > 保压时间 > 保压压力。为了更加清楚地表示各个工艺参数对流程长度的影响及趋势, 分别绘制 6 个相互关系曲线图, 见图 1 ~图 6。

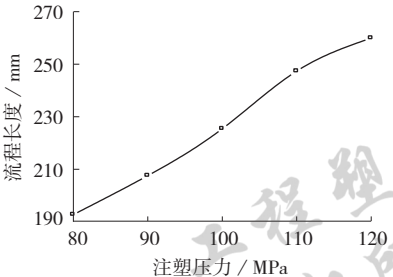


图 1 注塑压力对试样流程长度的影响

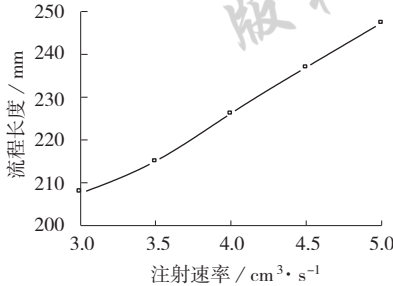


图 2 注射速率对试样流程长度的影响

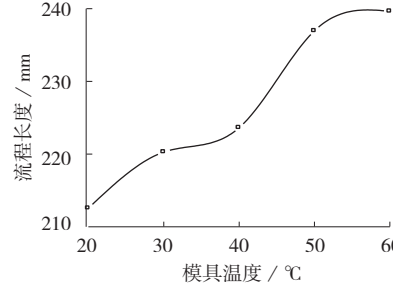


图 3 模具温度对试样流程长度的影响

从图 1 ~图 6 可以看出, 注塑压力对试样流程长度的影响最为明显, 注塑压力从 80 MPa 增加到 120 MPa 时, 试样流程长度从 192.7 mm 线性快速增加到 259.9 mm。由图 2、图 3 可知, 注射速率、模具

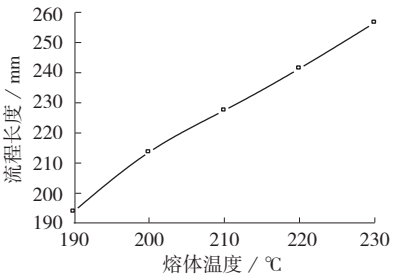


图 4 熔体温度对试样流程长度的影响

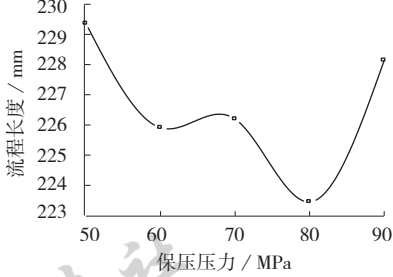


图 5 保压压力对试样流程长度的影响

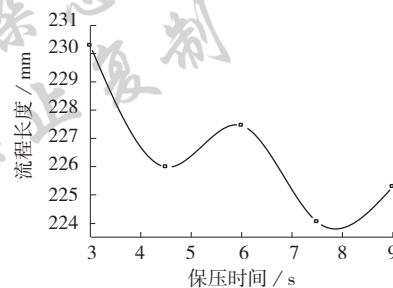


图 6 保压时间对试样流程长度的影响

温度对试样流程长度也有较大影响, 随着注射速率的增大、模具温度的升高, 试样流程长度增加。由图 4 可知, 熔体温度对试样流程长度的影响仅次于注塑压力, 这是因为熔体温度的升高有利于改善 PS 的流动性。由图 5、图 6 可知, 保压压力、保压时间对试样流程长度的影响相对较小。

2 神经网络模型的建立

注射成型模拟是实际生产过程的计算机仿真, 一旦分析结果不符合要求, 则需要调整工艺参数(相当于实际生产中的试模过程), 或者修改模型(相当于修模、正交试验改模过程)重新进行分析。由于有限元模拟需要计算大量节点的数据, 因此完成一次模拟分析, 特别是大型塑料制品的分析是相当费时的。因此要想利用 CAE 软件, 寻找到满足制品注塑要求的一组或多组工艺参数组合, 有时需要进行多次、反复的模拟, 耗费相当大的时间和精力。

人工神经网络具有大规模并行、分布或存储和处理、自组织、自适应和自学习能力, 特别适合于需要同时考虑多因素和条件的不精确以及模糊信息的

处理问题^[2]。此外,神经网络高效的数据处理功能也使其应用范围不断扩大。因此在 Moldflow/MPI 软件数值模拟的基础上,建立神经网络模型对模拟结果进行学习和训练,便可以获得注塑工艺参数与试样流程长度之间的内在联系,从而对各种工艺参数组合下对应的流程长度进行快速预测。

2.1 BP 神经网络简介^[2-5]

误差反向传播(BP)网络是 Rumelhart 和 McClelland 领导的科学家小组在 1986 年提出的一种前馈阶层网络的学习算法。由于其具有思路清晰、结构严谨、可操作性强等特点, BP 神经网络模型已经成为目前应用最广泛的神经网络模型。作为前向网络的核心, BP 神经网络体现了人工神经网络最精华的部分,因此,目前在人工神经网络的实际应用中,绝大部分的神经网络模型都是采用 BP 神经网络和它的变换形式。

2.2 BP 神经网络模型的建立

建立的神经网络模型如图 7 所示。

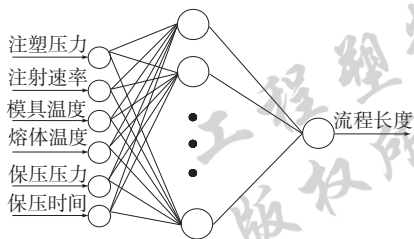


图 7 BP 神经网络模型图

这是一个三层的 BP 神经网络,由输入层、隐含层和输出层组成。其中输入层有 6 个神经元,分别是注塑压力、注射速率、模具温度、熔体温度、保压压力和保压时间。输出层只有一个神经元,即流程长度。隐含层神经元个数采用试凑法,初步定为 6,以后可以通过 Matlab 软件神经网络工具箱仿真时最后确定。

2.3 训练样本的选取

以上述正交试验与 Moldflow/MPI 软件模拟得到的 25 组实验数据做为训练样本(见表 2),并用模拟结果与 BP 神经网络得到的映射结果相比较,进一步验证其可靠性。

2.4 网络结构和训练方法的确定

理论上早已证明:具有偏差和至少一个 S 型隐含层(输入层与隐含层之间采用 sigmoid 传递函数)加上一个线性输出层(隐含层与输出层之间使用线性 purelin 函数)的网络,能够逼近任何有理函数^[3]。增加层数可以更进一步地降低误差,提高精度,但同

时也使网络复杂化,增加了网络权值的训练时间。而误差精度的提高实际上也可以通过增加隐含层中的神经元数目来获得,其训练效果也比增加层数更容易观察和调整,实践证明三层网络精度已足够。

3 Matlab 仿真试验

3.1 输入层、输出层数据的归一化处理

在 BP 神经网络的计算中,输入数据和输出数据范围分布较大,需要进行数据的归一化处理。数据的归一化处理不仅能够避免输入参数不均匀性引起的输出失真和网络麻痹现象,而且还可以在一定程度上缩短网络训练时间。训练好的模型在用于预测的时候,将预测的结果再进行逆变换,就可以得到真正意义上的输出。

3.2 模型训练及仿真

本试验中 BP 算法采用有动量和自适应 lr 的梯度下降法,训练函数为 traingdx。训练过程中网络性能目标误差取 0.0001,最大训练次数取 10000,性能函数最小梯度取 10^{-10} ,学习率取 0.05,学习率 lr 增长比为 1.05。一旦训练误差小于目标值或达到最大训练次数或性能函数梯度小于设定值,训练自动中止。

网络的隐含层神经元个数在训练的过程中进行优化,最终选为 10。输入训练样本对模型进行训练, BP 神经网络训练过程见图 8。从图 8 可以看出,经过 5521 次训练后,网络输出的最小误差已经稳定在 10^{-4} ,满足精度要求,训练完毕。

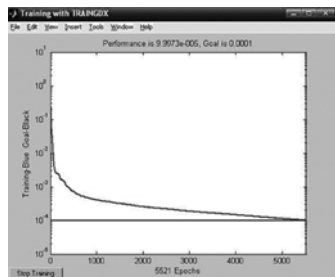


图 8 BP 神经网络训练过程

4 神经网络模型的检验

4.1 选取检验样本

选取 6 个工艺参数,每个工艺参数有 5 个水平,全部试验个数为 $5^6 = 15625$ 次,正交试验选用了其中的 25 个,再从中随机抽取 5 个作为检验样本。选用的检验样本以及试验结果如表 3 所示。

4.2 神经网络模型的分析

从表 3 可以看出,神经网络模型对工艺参数的映射结果与 Moldflow/MPI 软件模拟所得的结果接

表 3 检验样本及试验结果

试 验	1	2	3	4	5
注塑压力 /MPa	80	90	100	110	120
注射速率 / $\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	3.0	5.0	3.5	4.5	4.0
模具温度 / $^{\circ}\text{C}$	20	40	30	50	40
熔体温度 / $^{\circ}\text{C}$	210	190	210	220	210
保压压力 /MPa	60	60	80	50	60
保压时间 /s	4.5	4.5	6.0	9.0	3.0
MPI 模拟所得的流程长度 /mm	159.31	193.42	207.53	284.57	263.46
神经网络模拟所得的流程长度 /mm	159.99	196.24	208.07	287.56	265.61
误差 /%	0.43	1.46	0.26	1.05	0.82

近,证明训练后的 BP 神经网络是可行的。因此可认为模型的精度已经达到,对在工艺参数的取值范围内的任何组合,神经网络模型可以代替数值模拟软件。

5 结论

(1) Moldflow/MPI 软件模拟结果表明,注塑压力对试样流程长度的影响最明显,注塑压力越大,流程长度越大;熔体温度对试样流程长度的影响仅次于注塑压力,提高熔体温度,试样流程长度增加;注

射速率、模具温度对试样流程长度也有较大影响,随着注射速率的增大、模具温度的升高,试样流程长度增加;保压压力、保压时间对试样流程长度的影响相对较小。

(2) 通过建立三层 BP 神经网络,结合正交试验及对流程长度样本进行训练,得到了描述超薄塑料制品流程长度的神经网络模型,得出了注塑工艺参数与超薄塑料制品流程长度的内在联系,为以后的注塑工艺参数优化以及流程长度的预测起到了重要的指导作用。

参 考 文 献

[1] 罗汉琼. 注塑制品薄壁化技术[J]. 国外塑料, 1996(3): 31 - 34.

[2] 韩力群. 人工神经网络理论、设计及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.

[3] 丛爽. 面向 Matlab 工具箱的神经网络理论与应用[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2003.

[4] 董长虹. Matlab 神经网络与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.

[5] 李元科. 工程最优化设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

FLOW LENGTH PREDICTION FOR ULTRATHIN PLASTIC PRODUCT BASED ON
MOLDFLOW AND BP NEURAL NETWORK

Lai Peng

(Guangdong Huizhou Quality & Measuring Supervision Testing Institute, Huizhou 516003, China)

ABSTRACT On the basis of Moldflow/MPI software, the effect of six important process parameters(injection pressure, injection rate, mold temperature, plastic melt temperature, packing pressure, packing time) on the flow length of the ultrathin plastic product was studied with orthogonal test. A three-layer BP neural network was established and the simulation results showed that the flow length of the ultrathin plastic product could be predicted by means of the neural network model.

KEYWORDS moldflow, BP neural network, ultrathin plastic product, flow length

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 _____ 邮政编码 _____

通讯地址 _____ 电话 _____ E-mail: _____

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