

包装技术与工程

钙塑双螺杆挤出机工作参数对片材拉伸强度的影响研究

王召霞^{1,2}, 许文才¹, 高德², 梁艳梅¹

(1. 北京印刷学院, 北京 102600; 2. 浙江大学宁波理工学院, 宁波 315100)

摘要: 通过正交试验研究片材的拉伸强度, 并运用 Matlab 数学分析软件对试验数据进行了拟合优化, 得到了钙塑双螺杆挤出机的螺杆转速、喂料速度与机筒温度对钙塑复合包装材料拉伸强度影响的三维曲面图及等值图, 并建立了自变量与目标函数之间的数学模型。根据所得数学模型, 利用 LabVIEW 编程设计出了 GUI 操作界面, 实现了人机交互, 能够科学准确地对产品质量进行预测, 对生产实践具有一定的指导意义。

关键词: 钙塑; 双螺杆; 挤出机; 实验设计**中图分类号:** TB486; TB484 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)13-0001-04**Research on Effect of Operating Parameters of Calcium Carbonate-plastic Twin-screw Extruder on Tensile Strength of Sheet Material**WANG Zhao-xia^{1,2}, XU Wen-cai¹, GAO De², LIANG Yan-mei¹

(1. Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China; 2. Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo 315100, China)

Abstract: Tensile strength of sheet material was studied using orthogonal experiment. Test data obtained were fitted and optimized by using Matlab. The 3D map and contour map of the rotating speed, feeding speed and processing temperature on the tensile strength of sheet material was obtained. The mathematical models between independent and objective parameters were established. According to the mathematical models, graphical user interfaces were designed by using LabVIEW programming, through which human-computer interaction was realized and the product quality can be predicted scientifically and accurately. The purpose was to provide reference for production and practice.

Key words: calcium carbonate-plastic; twin-screw; extruder; experimental design

钙塑双螺杆挤出过程是钙塑复合包装材料生产的主要工艺, 合适的操作参数对产品的质量影响至关重要。利用 Matlab 建立双螺杆挤出机的 GUI 操作界面, 能够科学准确地实现对钙塑片材拉伸强度的预测, 指导生产实践^[1-2]。

唐庆菊等人曾对食品双螺杆挤出机的操作参数及 GUI 界面的设计做过研究, 但是由于双螺杆挤出机的机理相当复杂, 是一个多输入多输出系统, 挤压加工受到多种因素的共同影响。目前还没有一套成熟的理论解释它的挤压过程, 对于操作参数的调整还是靠经验调节。近年来, 更多的学者开始投入到双螺

杆挤出机操作参数与产品特性的研究工作中, 初步取得了一些研究成果^[2-6], 但仍未得到应用于双螺杆挤出机的精确的数学模型, 目前, 实验研究仍占有重要地位。笔者在前人研究的基础上, 进一步探索钙塑双螺杆挤出机操作参数对产品特性的影响, 并试图建立人机交互界面, 使其调节更加智能化、科学性^[7-8]。

1 实验设计

以钙塑片材的拉伸强度作为实验目标, 以双螺杆挤出机的螺杆转速、喂料速度和机筒温度为自变量,

收稿日期: 2012-05-08**基金项目:** 国家十二五科技支撑项目(2011BAD24B01)**作者简介:** 王召霞(1986—), 女, 山东人, 北京印刷学院硕士生, 主攻印刷包装机械设计。

设计了三因素四水平的正交试验^[9]。实验以已配好的钙塑配方为原料,在德国 Coperion 公司生产的 CET-20 型同向平行双螺杆挤出机上进行。正交试验的因素水平对照见表 1,试验结果见表 2。

表 1 因素水平对照

Tab.1 Control table of factors and levels

水平	机筒温度 /°C	主机转速 /(r·min ⁻¹)	喂料速度 /(r·min ⁻¹)
1	160	200	18
2	175	220	22
3	190	240	26
4	205	260	30

表 2 试验结果

Tab.2 Test result

试验号	机筒温度 /°C	主机转速 /(r·min ⁻¹)	喂料速度 /(r·min ⁻¹)	拉伸强度 /MPa
1	160	200	18	6.16
2	160	220	22	7.41
3	160	240	26	7.45
4	160	260	30	5.55
5	175	200	22	7.20
6	175	220	18	8.50
7	175	240	30	7.76
8	175	260	26	8.04
9	190	200	26	8.69
10	190	220	30	8.99
11	190	240	18	9.47
12	190	260	22	9.76
13	205	200	30	9.63
14	205	220	26	8.27
15	205	240	22	8.31
16	205	260	18	8.14

2 结果和分析

2.1 拉伸强度与机筒温度和螺杆转速的关系

利用 Matlab 数学分析软件将实验数据回归^[10-12],得到方程:

$$Y = -102.046 - 0.0021X_1^2 + 0.8534X_1 - 0.0005X_2^2 + 0.2505X_2 - 0.0002X_1X_2$$

所得三维曲面图及三维等值图见图 1。

从图 1 可以看出,拉伸强度随机筒温度的升高先升高,在约 190 °C 时达到最大值,之后随温度的继续升高反而略微下降。拉伸强度随螺杆转速的增加变

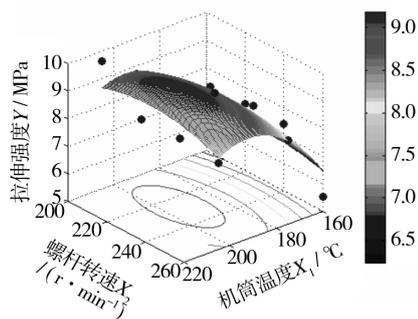


图 1 螺杆转速、机筒温度对拉伸强度的影响曲面图

Fig.1 3D surface map of screw speed and processing temperature on tensile strength

化幅度不是太大,但依然是呈先升后降的趋势,螺杆转速在 245 r/min 时,拉伸强度达到最大值。这说明,当机筒温度设定在约 190 °C,螺杆转速设定为 245 r/min 时,钙塑复合材料的拉伸强度最大。随着机筒温度和螺杆转速的增加,螺杆对物料的剪切程度增大,即剪切速度增大,从而使物料在机筒内得到更好地混合,但温度过高会使物料因发生氧化等反应,性能反而下降,因此加工温度并非越高越好,温度过高除了会发生氧化反应外耗能相应也提高,而螺杆转速在允许的情况下越大越好,可以提高生产效率。

2.2 拉伸强度与机筒温度和喂料速度的关系

利用 Matlab 数学分析软件将实验数据回归,得到方程:

$$Y = -58.4075 - 0.0021X_1^2 + 0.7372X_1 - 0.0036X_3^2 - 0.3666X_3 + 0.0029X_1X_3$$

所得三维曲面图及三维等值图见图 2。

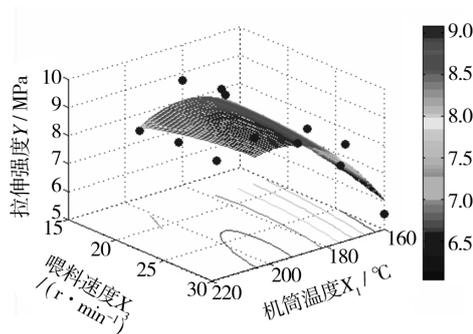


图 2 机筒温度、喂料速度对拉伸强度的影响曲面

Fig.2 3D surface map of feeding rate and processing temperature on tensile strength

从图 2 可以看出,拉伸强度随喂料速度和机筒温度的升高而升高,说明在钙塑双螺杆挤出机的运行过

程中,机筒温度越高,喂料速度越快,拉伸强度相应越大。但是喂料速度过大时,物料无法得到及时输送会造成进料口堵塞,熔体在机筒内的停留时间随喂料速度的增大而减小,熔体与外界的能量交换不充分,导致产品结构不均匀。当喂料速度为 25 r/min 时,拉伸强度已达到最大值,实验表明当喂料速度达到 30 r/min 时就极易造成堵料,机器不能正常运转,因此,合适的喂料速度定为 25 r/min。

2.3 拉伸强度与螺杆转速和喂料速度的关系

利用 Matlab 数学分析软件将实验数据回归,得到方程:

$$Y = -68.0323 - 0.0005X_2^2 + 0.4314X_2 - 0.0036X_3^2 + 2.2507X_3 - 0.0091X_2X_3$$

所得三维曲面图及三维等值图见图 3。

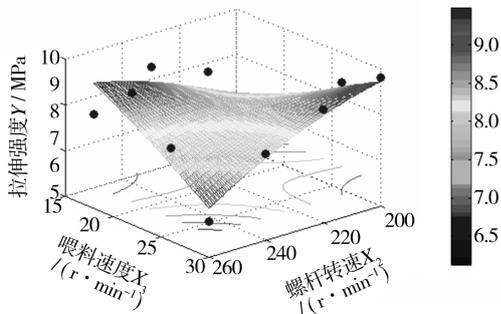


图 3 螺杆转速、喂料速度对拉伸强度的影响曲面图

Fig. 3 3D surface map of screw speed and feeding rate on tensile strength

从图 3 可以看出,在高螺杆转速下,拉伸强度随喂料速度的增大而减小,低螺杆转速下,拉伸强度随喂料速度的增大而增大,在较低的喂料速度下,拉伸强度随螺杆转速的增大而增大,在较高的喂料速度下,拉伸强度反而随螺杆转速的增大而减小。这些说明,螺杆转速和喂料速度需在一定的速比下才能达到最优化的生产。产业化生产既要讲求产品产量还要讲求质量,因此要在满足质量要求的情况下,合理设置机器的操作参数,达到产量的最大化。

2.4 拉伸强度与机筒温度、螺杆转速、喂料速度的数学模型

利用 Matlab 编程得到产品拉伸强度的统计模型为:

$$Y = -129.3406 - 0.0021X_1^2 + 0.768X_1 - 0.0005X_2^2 + 0.5542X_2 - 0.0008X_1X_2 - 0.0074X_2X_3 + 0.0077X_1X_3 - 0.0036X_3^2 + 0.4096X_3$$

产品拉伸强度取得最优值时,钙塑双螺杆挤出机的操作参数取值范围为:当 X_1 处于 187~205 °C, X_2 处于 210~250 r/min, X_3 处于 20~24 r/min 时,产品的拉伸强度比较大。当机筒温度为 191 °C,螺杆转速为 245 r/min,喂料速度为 23 r/min 时,产品的拉伸强度取得最优值(9.89 MPa)。

3 GUI 图形用户界面的设计

图形用户界面(GUI),是用户通过键盘鼠标等输入设备与计算机交换信息,实现人机交流,实时运行程序并输出结果,达到用计算机来指导生产的目的。

运用 Matlab 数学分析软件,通过编程对数据进行拟合优化,得到拉伸强度和机筒温度与螺杆转速、拉伸强度和机筒温度与喂料速度、拉伸强度和螺杆转速与喂料速度之间的数学模型,再根据所得到的数学模型,利用 LabVIEW 编程设计 GUI 用户操作界面,在此用户界面下,可以输入任意两自变量,通过数学模型得到相应的目标参数,实现了参数之间的可视化,达到了对目标参数进行预测的目的^[13]。

建立的图形用户界面的部分程序框图见图 4。

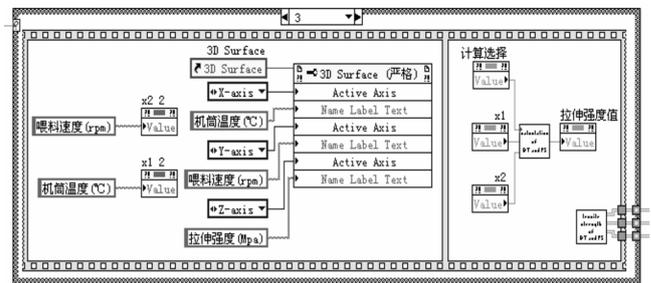


图 4 GUI 操作界面的程序框图

Fig. 4 Block diagram of the GUI

所建立的钙塑双螺杆挤出机的操作界面见图 5。

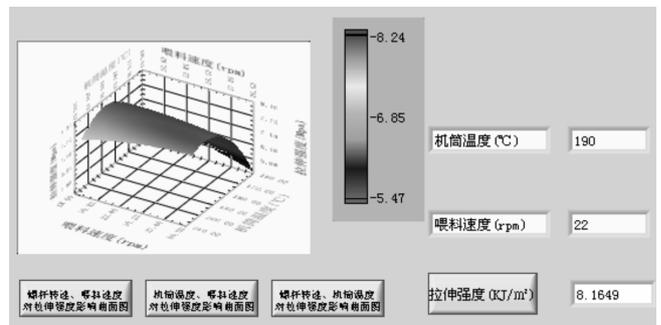


图 5 GUI 用户操作界面

Fig. 5 GUI user interface

4 结论

通过正交设计进行实验,对实验数据用 Matlab 数学分析软件进行处理,得到了钙塑双螺杆挤出机的操作参数与产品拉伸强度之间的数学模型,并根据数学模型利用 LabVIEW 编程设计出了 GUI 图形用户操作界面,可以科学准确地对产品质量进行预测,对生产实践具有指导意义。

参考文献:

- [1] 张裕中,戴宁,王治. 双螺杆挤压机操作参数变化对谷物产品特性的影响[J]. 无锡轻工大学学报,1999,18(1):39-46.
ZHANG Yu-zhong, DAI Ning, WANG Zhi. Effects of the Parameters of Twin-screw Extruder on the Characteristics of the Cereal Products[J]. Journal of Wuxi University of Light Industry, 1999, 18(1): 39-46.
- [2] 唐庆菊,卜迟武,徐克非. 食品双螺杆挤压机 GUI 操作界面的设计[J]. 哈尔滨商业大学学报,2005,21(6):766-771.
TANG Qing-ju, BU Chi-wu, XU Ke-fei. Design on Graphical User Interfaces of Food Nibbling Twin-screw Extruders[J]. Journal of Harbin University of Commerce, 2005, 21(6): 766-771.
- [3] 唐庆菊. 食品双螺杆挤出机操作参数的优化[D]. 哈尔滨:哈尔滨商业大学,2006.
TANG Qing-ju. The Optimization of Operating Parameters of Twin-Screw Extruder[D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2006.
- [4] 徐克非,李德溥. 双螺杆挤压机操作参数对加工质量影响的研究[J]. 包装工程,2006,27(4):77-78.
XU Ke-fei, LI De-pu. Study on the Effect of Operational Parameters on Processing Quality of Twin Screw Extruder[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(4): 77-78.
- [5] 文东辉. 双螺杆挤压机系统效率参数的研究[D]. 哈尔滨:黑龙江商学院,1999.
WEN Dong-hui. Study on the Efficiency of the System Parameters of Twin-screw Extruder[D]. Harbin: Heilongjiang College of Commerce, 1999.
- [6] JANSSEN P B M. Twin Screw Extrusion[M]. New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1978.
- [7] VANDENENDE R M, KROON P, VANDERGOOT A J, et al. Local Mixing Effects of Screw Elements During Extrusion[J]. Polymer Engineering and Science, 2005, 45(3): 271-278.
- [8] LI Y, HSIEH F. Modeling of Flow in a Single Screw Extruder[J]. Journal of Food Engineering, 1996, 27(4): 353-375.
- [9] 李云雁,胡传荣. 实验设计与数据处理[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
LI Yun-yan, HU Chuan-rong. Experiment Design and Data Processing[M]. Beijing: Chemical Industry Press, China, 2005.
- [10] 董大校. 基于 MATLAB 的多元非线性回归模型[J]. 云南师范大学学报,2009,29(2):45-48.
DONG Da-xiao. The Multivariate Nonlinear Regression Model Based on MATLAB[J]. Journal of Yunnan Normal University, 2009, 29(2): 45-48.
- [11] 陈杰. MATLAB 宝典[M]. 北京:电子工业出版社,2011.
CHEN Jie. MATLAB Collection[M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2011.
- [12] 陈桂明,戚红雨,潘伟. MATLAB 数理统计(6. X)[M]. 北京:科学出版社,2002.
CHEN Gui-ming, QI Hong-yu, PAN Wei. MATLAB Mathematical Statistics (6. X) [M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [13] 陈树学,刘萱. LabVIEW 宝典[M]. 北京:电子工业出版社,2011.
CHEN Shu-xue, LIU Xuan. LabVIEW Collection[M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2011.