

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.01.014

注塑机料筒温度调控和计算机仿真研究

付饶

(绵阳职业技术学院,四川绵阳 621000)

摘要:利用模糊控制和比例-积分-微分(PID)控制相结合的手段对注塑机料筒温度进行了控制,同时以 Matlab 6.0 软件为仿真平台,对料筒温度控制进行了模拟仿真研究。实验发现,在注塑机料筒升温过程中利用 CHR 整定的 PID 控制手段和模糊控制手段,恒温过程中利用人工整定的 PID 控制手段,可保证快速的料筒升温响应速率和稳定的保温过程。通过实际注塑实验对该仿真结果进行了验证,在十组实验中,料筒温度误差不超过 2%,产品翘曲变形量不超过 0.059 mm。

关键词:料筒温度控制;计算机仿真;比例积分微分控制;注塑;翘曲变形量

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)01-0072-04

Research on Temperature Control and Computer Simulation of Injection Molding Machine Barrel

Fu Rao

(Mianyang Vocational and Technical College, Mianyang 621000, China)

Abstract : The barrel temperature of injection moulding machine is controlled by means of combination of fuzzy control and proportional-integral-differential (PID) control. At the same time, the barrel temperature control is simulated by using MATLAB 6.0 software as the simulation platform. It was found that the fast response rate and the stable heat preservation process could be guaranteed by using the fuzzy control method and the PID control method during the heating process of the barrel of the injection moulding machine. In addition, the simulation results were verified by the actual injection experiments. In ten groups of experiments, the temperature error of the barrel is less than 2% and the warpage of the product is less than 0.059 mm.

Keywords : barrel temperature control ; computer simulation ; proportional integral differential control ; injection ; warpage

作为常见的塑料加工方法,注塑加工一直受到广泛的关注。在注塑加工过程中,往往涉及到温度、压力等多种参数的优化和调整,而这些加工参数也会对最终产品的质量产生较为显著的影响^[1-6]。

在众多加工参数中,注塑机的料筒温度是十分重要的工艺参数,也对产品质量的影响十分显著。过高的料筒温度会导致物料烧焦、粘壁、降解、发黄等现象;过低的料筒温度则会导致物料流动性差,熔融不完全,设备磨损严重等^[7-9]。因此,在注塑加工过程中,对料筒温度进行了严格地监控是十分必要的,若通过有效的调控手段将料筒温度控制在目标范围内,不出现大幅的震荡和超调现象,则能够在一定程度上保证产品的质量。模糊控制和比例-积分-微分(PID)法是一种常见的料筒温度调控方法,

具有较快的相应速率,然而常常会在料筒温度调控过程中出现大幅超调现象^[10-14]。笔者在传统的 PID 控制法基础上进行改进,通过不同的整定方法对相应函数进行整定,并利用整定后的 PID 控制法对注塑机的料筒温度进行调控。同时利用 Matlab 软件建立仿真平台,对注塑机料筒温度调控进行了模拟仿真。另外,通过实际加工实验验证了所建立的 PID 法对注塑机料筒温度调控的效果,以及研究了相应加工条件下产品的质量。

1 实验部分

1.1 Simulink 建模

以 Matlab 软件建立仿真平台,在其命令窗口中输入 Simulink 指令,以运行 Simulink 仿真程序。接着,在空白模型窗口中建立仿真模块并对其相应参

通讯作者: 付饶,副教授,主要从事计算机辅助设计与制造研究 E-mail : furao2202223@sina.com

收稿日期: 2019-11-07

引用格式: 付饶. 注塑机料筒温度调控和计算机仿真研究 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(1): 72-75.

Fu Rao. Research on temperature control and computer simulation of injection molding machine barrel[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(1): 72-75.

数进行编辑,确定输入端子和输出端子,将所有仿真模块连接成一整套完整的仿真系统,完成仿真平台的搭建。

1.2 料筒温度调控

实验模拟物料对象为聚乙烯,料筒温度设定为 175°C ,加热模块启动温度为 140°C 。也就是说,当料筒温度低于 140°C 时,料筒加热器开始加热;当料筒温度高于 140°C 时,料筒加热器停止加热,利用加热器和料筒余温对料筒进行加热,使其温度保持在 175°C 。

1.3 聚乙烯注塑实验

聚乙烯选用中国石油化工股份有限公司茂名分公司所生产的高密度聚乙烯,牌号为 951050。聚乙烯注塑的工艺条件为,料筒温度 175°C ,模具温度为 30°C ,注射压力为 100 MPa,保压压力为 5 MPa,保压时间为 30 s。

2 料筒温度 PID 控制器建模

在 Simulink 仿真程序中建立模糊 PID 控制器相关模型模型,程序流程图如图 1 所示,其中, K_p , K_i , K_d 分别为比例函数、积分函数和微分函数的系数。在控制程序中添加了 Smith 预估补偿,以预测料筒温度的震荡趋势,进而下达调节命令给调节器,做出滞后调节量,达到防止料筒升温过快产生超调现象的目的。

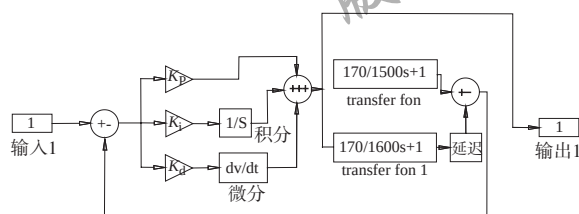


图1 料筒温度 Smith 预估补偿 PID 控制器模型

根据文献中所提供的计算方法^[11],利用 Ziegler-Nichols 整定法、CHR 整定法和人工整定法三种方法对比例函数系数 K_p 、积分函数系数 K_i 和微分函数系数 K_d 进行了计算。三种方法所计算出来的函数系数略有差别,其中 Ziegler-Nichols 整定法计算所得的 K_p , K_i , K_d 值分别为 0.36, 0.002 960, 5.35; CHR 整定法计算所得的 K_p , K_i , K_d 值分别为 0.18, 0.000 106, 2.70; 人工整定法计算所得的 K_p , K_i , K_d 值分别为 0.01, 0.000 011, 0.51。Ziegler-Nichols 整定法下的 PID 控制,各个函数参数系数较高,说明相应的 PID 相应速率较高,但容易出现超调现象;与 Ziegler-Nichols 整定法相比,CHR 整定

法下的 PID 控制程序中,各函数参数系数相对较低,不过相应的 PID 控制的相应速率依然保持在较高范围内,但进入稳态后该 PID 控制下易出现温度震荡现象;人工整定下,相应 PID 控制程序中个函数系数均较低,说明相应 PID 控制程序相应速率较慢,但不易出现超调和稳态温度震荡等现象。

对三种整定方法下的 PID 控制程序进行了模拟仿真运行,仿真结果如图 2 所示。结果表明, Ziegler-Nichols 整定法下的 PID 程序运行过程中,升温速率快,200 s 内可达到目标温度,500 s 时进入稳态;但该 PID 程序在升温过程出现明显超调现象,稳态出现温度震荡现象;CHR 整定法下的 PID 程序运行过程中,升温速率也较快,500 s 时进入稳态;但该 PID 程序在稳态出现温度震荡现象;人工整定法下的 PID 程序运行过程中,升温速率较慢,4000 s 时才进入稳态;但该 PID 程序在升温过程中未出现超调现象,且稳态也未出现温度震荡现象;以上结果与分析结果完全一致。

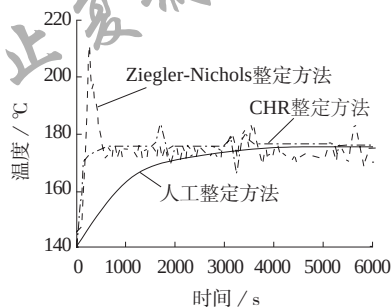


图2 不同整定方法获得的 PID 控制器的仿真温度响应曲线

对于温度控制目标,需要既保持较快的相应速率,又要保证不出现超调和稳态振荡现象,因此升温过程采用 CHR 整定的 PID 控制,稳态采用人工整定的 PID 控制。

3 模糊控制仿真

为了进一步提高温度控制相应速率,还在升温阶段额外增加了模糊控制手段。同样是以 Matlab 6.0 软件为仿真平台,在程序窗口中输入“fuzzy”指令,结合 Fuzzy Logic Toolbox 工具包中的可视化工具,编辑了 Sugeno 型模糊函数,其运行流程图如图 3 所示。其中, E 为输入误差, E_c 为误差变化; $f(v)$ 为输出的变量。

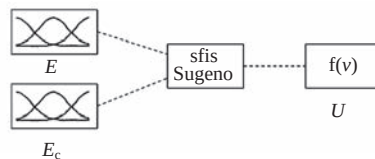


图3 Sugeno 型模糊函数流程图

在该函数中,输入变量和输出变量均由正大、正中、正小、零点、负小、负中、负大七个子集组成,分别以NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB表示。模糊控制器中各输入参数和控制规则由实际操作经验得来,具体见表2和表3。

表1 Sugeno型模糊控制器参数

模糊子集	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
U值	0	0.1667	0.3333	0.5	0.667	0.8333	1

表2 Sugeno型模糊控制器控制规则

U	E						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
E_c							
NB	0.1667	0	0	0	0	0	0
NM	0.333	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0
NS	0.500	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.1667
ZO	0.667	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.333
PS	0.833	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.500
PM	1.000	0.833	0.833	0.833	0.833	0.833	0.667
PB	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.833

在料筒温度控制仿真过程中, E_c 为实际温度和预设温度之差的变化。若误差为PB时,说明 E_c 变化趋势增大,应加大温度控制量;若误差为NB、NM和NS,说明 E_c 变化趋势减小,可降低温度控制量;若误差为ZO和PS,则根据实际情况予以调节。

根据模糊控制的相关参数和控制规则,在上述PID控制模型中进一步加入模糊控制。同样以Matlab 6.0软件为仿真平台,在Simulink窗口建立模糊-PID控制程序,程序流程图如图4所示。

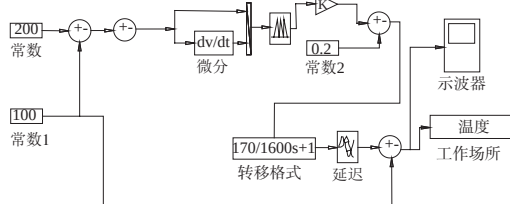


图4 Smith预估补偿 Sugeno型-PID料筒温度控制器结构示意图

在Workspace模块中导入Mfis函数,然后再进一步导入到F模糊控制器模块,对料筒温度进行了仿真,温度仿真曲线如图5所示。仿真实验结果表明,该温度变化曲线较为平滑,升温相应速率极快,当时间为200s时,便达到预设温度175℃,且进入稳态,升温过程中未出现温度超调现象;进入稳态后,温度曲线平稳,在200~6000s时间范围内,温度一直稳定保持在175℃,未发生温度震荡的现象。与单纯PID控制法相比,模糊-PID控制法的温度相应速率更快,且依然为发生超调和稳态震荡现象。

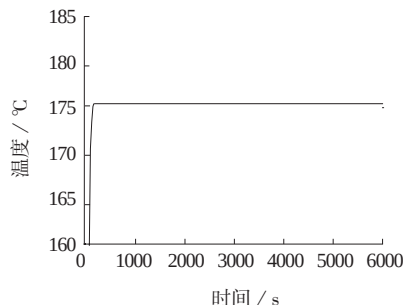


图5 模糊-PID控制法下的仿真温度响应曲线

4 实验验证研究

为进一步验证模糊-PID控制函数对料筒温度调控的精度,利用这种控制程序对聚乙烯薄片制品(10 mm×40 mm×60 mm)注塑加工进行实验验证研究。图6给出了10组注塑实验的温度曲线变化,表4给出了10组聚乙烯薄片的翘曲变形量。

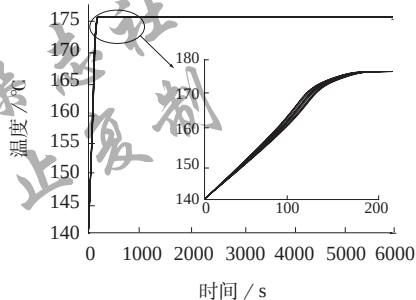


图6 实际实验中温度控制曲线

表3 聚乙烯薄片翘曲变形量

组别	翘曲变形量/mm
1	0.029
2	0.021
3	0.007
4	0.019
5	0.059
6	0.032
7	0.052
8	0.011
9	0.023
10	0.009

如图6所示,十组实验中温度变化曲线均较为平滑,达到稳态时间均处于200~210s范围内。其中第五组升温最慢,211.2s时达到稳态;第六组升温最快,200.2s时达到稳态;十组实验平均达到稳态时间为200.5s。十组实验在进入稳态后6000s内未出现温度震荡,不同组别的稳态温度没有出现太大差别,其中第三组稳态误差最低,稳态温度为175.21℃;第五组稳态误差最高,稳态温度为175.71℃;十组实验平均稳态温度为175.44℃。这进一步说明,该模糊-PID控制法对注塑机料筒温度

的控制精度较高,且对相应温度变化指令的相应速率也较快。除此之外,由于料筒温度的高精度控制,聚乙烯薄片的翘曲变形量也较低,第三组实验所制备的聚乙烯薄片的翘曲变形量最低,为 0.007 mm;第五组最高,为 0.059 mm;平均仅为 0.026 mm。这一结果也进一步表明,在较为稳定和高精度的料筒温度调控下,通过注塑加工所得的聚乙烯薄片的精度较高,缺陷较少。

5 结论

建立了模糊-PID 料筒温度控制模型,升温过程采用模糊控制结合 CHR 整定的 PID 控制,稳态过程采用人工整定的 PID 控制。该调控模型下,温度响应较快,200 s 时可进入稳态,升温过程超调量较低;进入稳态后,6000 s 内温度可保持在 175℃,且不发生稳态震荡。利用该控制模型在聚乙烯薄片制品的实际注塑加工中对料筒温度进行控制,10 组实验的温度曲线变化均较为平稳,达到稳态时间控制在 200~210 s 内,未发现超调和稳态震荡现象,所制得的聚乙烯薄片的质量高,缺陷少,翘曲变形量为 0.007~0.059 mm。

参考文献

- [1] 陈兴元,张亚涛,葛路通,等.工艺参数对微孔注塑 PC 制品泡孔形态的影响[J].塑料科技,2019,47(2):54-57.
Chen Xingyuan, Zhang Yatao, Ge Lutong, et al. Effect of technological parameters on cell morphology of microporous injection molded PC products[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(2):54-57.
- [2] 庄卫国,王博,查光成.玻璃纤维增强聚丙烯收缩行为的研究及优化[J].现代塑料加工应用,2019,31(2):52-55.
Zhuang Weiguo, Wang Bo, Zha Guangcheng. Research on shrinkage behavior and optimization of glass fiber reinforced polypropylene[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2019, 31(2):52-55.
- [3] 孙秀洁.微孔注塑成型制品的仿真分析与工艺优化[D].大连:大连理工大学,2018.
Sun Xiujie. Simulation analysis and process optimization of microcellular injection molding products[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2018.
- [4] 钟升辉,薛宏魁,陈强,等.注塑工艺对均聚聚丙烯拉伸性能的影响[J].合成树脂及塑料,2019(3):65-68.
Zhong Shenghui, Xue Hongkui, Chen Qiang, et al. Influence of injection process on tensile properties of homo-polypropylene[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2019(3):65-68.
- [5] 朱峰,林宇.注塑成型工艺对汽车塑料部件力学性能的影响探讨[J].科技经济导刊,2017(10):49-50.
Zhu Feng, Lin Yu. Discussion on the influence of injection molding process on the mechanical properties of automotive plastic parts[J]. Science and Technology Economic Guide, 2017(10):49-50.
- [6] 张峰,吴斌,张凯舟,等.注塑温度对长玻纤增强聚丙烯复合材料性能的影响[J].塑料,2012(6):60-62.
Zhang Feng, Wu Bin, Zhang Kaizhou, et al. Effect of injection temperature on tensile strength of long glass fiber reinforced PP[J]. Plastics, 2012(6):60-62.
- [7] 李明辉,张孝杰.注塑机料筒多段温度控制系统的设计[J].包装工程,2017(19):185-190.
Li Minghui, Zhang Xiaojie. Research and design of the multi-stage temperature control system of the injection molding machine barrel[J]. Packaging Engineering, 2017(19):185-190.
- [8] 罗帆.注塑机料筒温度控制算法研究[D].武汉:华中科技大学,2015.
Luo fan. Research on temperature control algorithm of injection molding machine barrel[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2015.
- [9] 李季,姜玉东.基于加权模糊解耦策略的注塑机料筒温度控制[J].现代电子技术,2008,31(2):162-164.
Li Ji, Jiang Yudong. Based on weighting fuzzy decoupling strategy for the extruder barrel temperature of injection molding machine control[J]. Modern Electronics Technique, 2008, 31(2):162-164.
- [10] 赵国新,吕文洋,刘昌龙,等.液压伺服系统建模与模糊自适应 PID 控制研究[J].工业仪表与自动化装置,2019,266(2):5-9.
Zhao Guoxin, Lyu Wenyang, Liu Changlong, et al. Modeling and research on fuzzy adaptive PID control for hydraulic servo system[J]. Industrial Instrumentation & Automation, 2019, 266(2):5-9.
- [11] 祝帆,李美求.灰色模糊 PID 控制在感应加热管道中的应用[J].机电工程技术,2019,48(3):151-154.
Zhu Fan, Li Meiqiu. Application of grey fuzzy PID control in induction heating pipeline[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2019, 48(3):151-154.
- [12] 崔家瑞,李擎,张波,等.永磁同步电机变论域自适应模糊 PID 控制[J].中国电机工程学报,2013,33(S1):190-194.
Cui Jiarui, Li Qing, Zhang Bo, et al. Permanent magnet synchronous motor of variable universe adaptive fuzzy PID control[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(S1):190-194.
- [13] 王海青,姬长英,刘同召,等.模糊自整定 PID 温度控制系统的建模与仿真[J].计算机工程,2012,38(7):233-235.
Wang Haiqing, Ji Changying, Liu Tongzhao, et al. Modeling and simulation of fuzzy self-tuning PID temperature control system[J]. Computer Engineering, 2012, 38(7):233-235.
- [14] 赵婕,许浩.注塑机料筒温度分段控制的计算机仿真研究[J].合成树脂及塑料,2016,33(5):61-63.
Zhao Jie, Xu Hao. Simulation of segmentation controlling on barrel temperature in injection molding machine[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2016, 33(5):61-63.