

基于模糊控制的挤压铸造模温控制系统研究

郭桃妹, 应富强*

(浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014)

摘要:针对挤压铸造模具温度难于控制的特性,分析了挤压铸造工艺及挤铸模具温度影响因素。根据现有挤铸模具加热及冷却方式,结合分析研究影响挤铸模温的多因素与多变性,建立了新的挤铸模具温度控制模型,并运用模糊控制方法来实现温度控制。在设计好模糊控制器后,利用 Matlab 软件中的 Simulink 模块建立了模温控制系统模型并实现了仿真分析。仿真结果表明:与传统的 PID 控制相比,模糊控制系统具有良好的控制特性。

关键词:挤压铸造;模糊控制;模具温度;仿真

中图分类号:TH39;TH16;TP273+.4

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)11-0036-04

Study of squeeze casting die temperature control system based on fuzzy control

GUO Tao-mei, YING Fu-qiang

(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: On account of difficulties of squeeze casting die temperature control, squeeze casting process and factors influencing squeeze casting die were analyzed. On the basis of current heating and cooling ways of squeeze casting die, the much factors and variability of die temperature influence were studied, a new squeeze casting die temperature control model was established. The temperature control was realized by the fuzzy control pattern. After designing the fuzzy controller, simulation model of die temperature control system was set up in the Simulink block of Matlab and the analysis of simulation was operated. The simulation results show that the system has good control performance, compared with the traditional PID control mode.

Key words: squeeze casting; fuzzy control; die temperature; simulation

0 引 言

在挤铸过程中,模具温度对铸件质量和模具寿命均有着重大影响。模具温度过低会增加铸件冷隔、冷痘和涂料夹杂等缺陷;模具温度过高,会加速模具的机械磨损,促使金属与型腔表面粘结^[1],因而降低模具寿命。因此,如何控制模具温度对铸件质量和模具寿命都具有非常重要的意义。目前,现有的挤铸模温 PID 控制方式及其配套温控系统对非线性系统控制效果不够理想。

本研究在建立温控系统的基础上引入了以语言规则为基础的模糊控制,与 PID 控制比较,其具有良好的控制效果。

1 挤压铸造工艺及温度影响因素分析

挤压铸造是对浇入铸型型腔内的液态金属施加较高的机械压力,并使其成形和凝固,从而获得铸件的一种工艺方法^[2-3]。挤压铸造的典型工艺程序可分为铸型准备、浇注、合型加压和开腔取件 4 个基本步骤。

如图 1 所示,上部为挤铸机的一部分。生产时先

把熔化炉内金属液倒入下模腔,然后主活塞缸下行并慢速加压、保压一段时间;待金属液完全冷却凝固,上模开模,上行;之后,顶杆把铸件顶出完成一个基本的挤压铸造工艺过程。

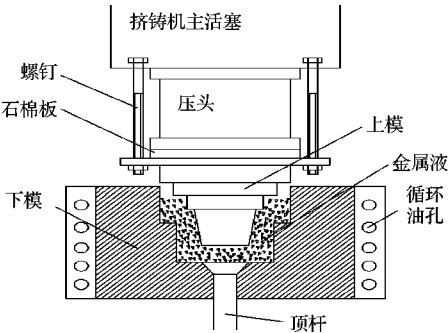


图 1 挤压铸造示意图

模具预热的方法很多,常见的有可燃气体制热、电阻加热、循环油加热,合金液预热^[4],考虑到温度的可控性与后续模具的均匀冷却,本系统预热采用电阻性质加热器加热循环油的综合方式。

在挤铸模下模加工出循环油孔,可以完成模具的预热、冷却。

模具预热部分电热装置功率可以根据相关参数算出:

$$W = \frac{V\gamma c_1(T_2 - T_1)}{f} + kA_b \quad (1)$$

式中 V —模具体积, cm^3 ; γ —模具材料的密度, g/cm^3 ; c_1 —钢的比热容, $0.460\text{J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$; T_2 —理想加热温度, $^\circ\text{C}$; T_1 —室内温度, $^\circ\text{C}$; A_b —模具的全部暴露表面积, cm^2 ; k —单位暴露表面积的热损失系数,通常取 $0.31, \text{W}/\text{cm}^2$; f —功率转换系数,通常取 3.588×10^3 。

所以,加热器产生热量 Q_1 为:

$$Q_1 = Wt \quad (2)$$

式中 t —加热时间, s 。

模具散热主要采用循环油冷却的方式。当金属液浇入下模时,模具温度立即升高,此时可根据需要,减小加热器功率甚至直接降为零,然后通过循环油把一部分热量从模具排出。循环油每小时与模具交换的热量^[5]可用下式计算:

$$Q_2 = (\pi d^2/4)\gamma u_0 c_2 \Delta T \quad (3)$$

式中 Q_2 —导热油吸收的热量, kJ ; d —循环通路的管径, m ; γ —导热油的比重, kg/m^3 ; c_2 —导热油的比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$; ΔT —模具进出口的油温温差, $^\circ\text{C}$; u_0 —导热油的流速, m/s 。

此外,模具温度还可以通过自身和挤铸机的某些

机械部件的散热降低。金属液浇入模具型腔对模具温度的影响是最大的。模具温度与挤压力也有一定相关性,相关研究表明,不同挤压力下模具温度变化是不同的^[6]。

2 挤压铸造机模温控系统设计

根据前述采用的挤铸模具预热与冷却方式,本节构建了新的模具温控系统,如图 2 所示,在挤压铸造开始阶段,油泵工作,使油在油管内循环流动,同时加热器对油进行加热,油与模具接触并把热量传递给模具,达到预热的作用,对于铝合金铸件,模具预热温度一般为 $150 \sim 200\text{ }^\circ\text{C}$ 。工作中,当高温金属液浇入模具型腔后,模具立即升温,可以调节加热器使其不加热,这时循环油起冷却作用。为了冷却油管中的油,本系统中设置了水箱,水流通过进水管以一定速度流动,把热量排出模具。

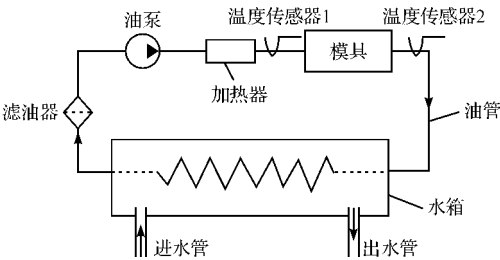


图 2 挤铸模温控物理模型简图

由于挤压铸造工艺的特性,在挤铸过程中,铸型温度必须保持在合理范围之内,过低,金属中温度梯度增加,促使铸件形成大的柱状晶体。此外,型温低还增加冷隔、涂料夹杂等缺陷。因此,当温度降低到预设值以下时,必须升温,这可以通过调节加热器实现。在图 2 中两温度传感器用来检测并传递实时温度参数。

综合前面,模具热量可由下面公式表示:

$$Q = f(Q_1, Q_2, Q_3) \quad (4)$$

式中 Q_3 —金属液热量。

模具温度主要受以上三部分影响,但实际中远非这么简单,还包括自身散热等其它一些不可控因素。此外,以上三因素准确的物理模型也很难建立,这给模具温度控制带来了困难。

模糊控制是基于丰富操作经验总结出的、用自然语言来表述控制策略,或通过大量实际操作数据归纳总结出的控制规则,并用计算机予以实现的自动控制^[7]。由式(4)可以看出,在给定条件下模具热量可以由加热器控制。由于加热器为电阻性质,由电学知

识可知,只要控制其电压 U 即可。在采用了模糊控制方式后,可以不用考虑各种不确定因素^[8],而只需根据实际经验进行控制。

3 模糊控制器设计

模糊控制器工作的基本原理,是将输入的数字信号经过模糊化变成模糊量,送入含有模糊规则的模糊推理模块,经过近似推理得出结论—模糊集合,然后被清晰化模块变换成清晰量,再输出到下一级被控对象。常见的模糊控制器有 Mamdani 型和 T-S 型,它们是两类模糊规则不同的控制器,本系统采用常用的 Mamdani 模糊控制器,本控制器为双输入、单输出模型。

3.1 确定输入/输出变量

挤铸模具温度偏差 WE 、温度变化率 WR 、输出变量为电压 U 。 WE 的模糊论域为 $[-1, 1]$,模糊子集为: $\{NE, ZO, PE\}$ 。 WR 的模糊论域为 $[-0.1, 0.1]$,模糊子集为: $\{NF, NON, PF\}$ 。其中, NE = 负大, ZO = 零, PE = 正大, NF = 负快, NON = 适中, PF = 正快。输出变量为加热器电压 U 的模糊论域为 $[-1, 1]$,模糊子集为: $\{NU, NMU, Okay, PMU, PU\}$,其中, NU = 小, NMU = 中小, $Okay$ = 恰好, PMU = 中大, PU = 大。

将输入变量的清晰值转换为模糊量的过程叫模糊化^[9],量化因子为模糊化过程中将清晰量放大或缩小的变换系数。本控制器中,根据挤铸经验取 WE 物理论域为 $[-2, 2]$, WR 物理论域为 $[-0.3, 0.3]$ 。根据公式:

$$k_j = \frac{n_j}{x_j} \quad (5)$$

式中 k_j —为量化因子; n_j —输入变量模糊论域集合上限; x_j —物理论域集合上限。

所以, WE 的量化因子 $k_1 = 2/1 = 2$, WR 的量化因子 $k_2 = 0.3/0.1 = 3$ 。

输出变量的清晰化就是把经过模糊推理的模糊量变换为清晰值的过程,按照“言之有理、计算方便和具有连续性”的原则。常用的清晰化方法有面积平分法、面积中心法和最大隶属度法,由于最大隶属度法具有直观合理和计算方便的优点,本研究决定采用此方法。类比于量化因子,比例因子为清晰化过程中的转换系数。输出 U 的物理论域 $[-6, 6]$,由公式:

$$k_u = \frac{u}{n} \quad (6)$$

式中 k_u —比例因子; u —输出量物理论域集合上限; n —输出变量模糊论域集合上限。

所以比例因子 $k_u = 6/1 = 6$ 。

3.2 模糊推理系统 (FIS) 编辑器建立

FIS 编辑器是通过 Matlab 建立的。本研究根据前述输入/输出变量的模糊子集建立相应的隶属度函数,如图 3 所示。其中输入变量 WE 、 WR 隶属度函数选用 gaussmf 型,输出变量 U 隶属度函数选用 trimf 型。

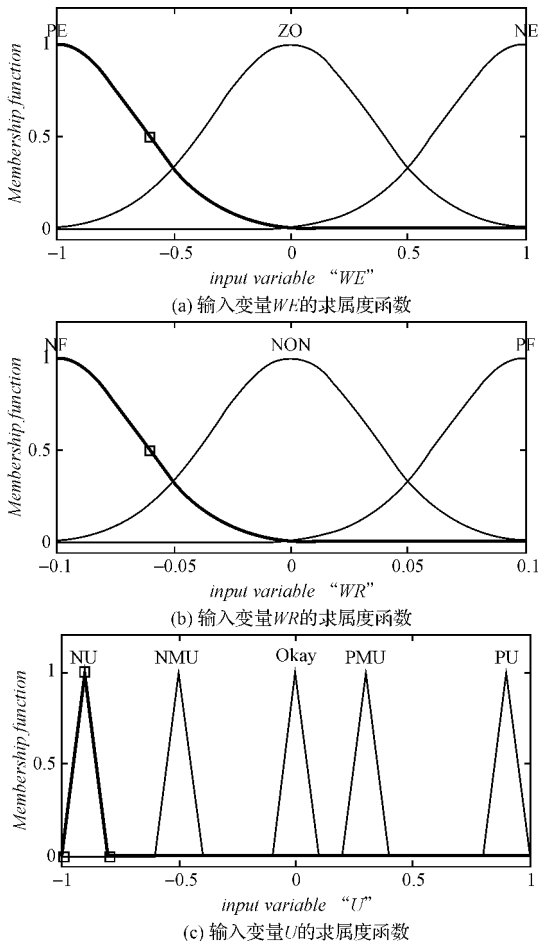


图 3 输入/输出相应的隶属度函数

3.3 模糊控制规则建立

模糊控制规则是模糊控制器的核心,是由一系列的模糊条件语句组成的^[10]。基本模糊条件句型有两种:“if A then U”或“if A and B then U”,对于其他复杂的模糊语言规则都可以分解成这两种基本句型。本系统建立模糊规则如下:

- (1) If (WE is NON) then (U is NON);
- (2) If (WE is NE) then (U is PU);
- (3) If (WE is PE) then (U is NU);
- (4) If (WE is NON) and (WR is PF) then (U is NMU);
- (5) If (WE is NON) and (WR is NF) then (U is PMU)。

4 模温控制系统仿真

4.1 仿真模型建立

本模型在 Matlab 中的 Simulink 模块中建立,主要包括模糊控制与 PID 控制两块内容,以便对两者控制性能进行比较。考虑加热器为电阻性质,一般都属于一阶对象和带纯滞后的对象^[11],所以模温控制系统传递函数可表示为:

$$G(s) = \frac{k_f}{c + T_f s} e^{-\tau s}$$
 (7)

式中 k_f —被控对象的放大系数; T_f —被控对象的时间常数; τ —纯滞后时间; c —常数项。

综合考虑模具、循环油等因素后,取 $k_f = 4$ 、 $T_f = 10$ 、 $\tau = 0$ 、 $c = 5$ 。滞后时间由后面的 Transport Delay 模块实现,时间为 20 s。仿真模型如图 4 所示。

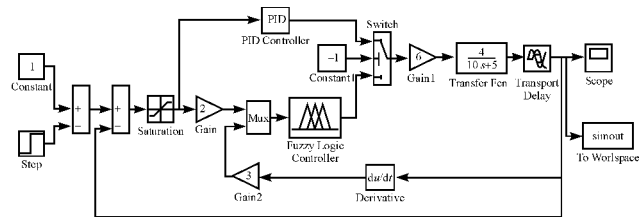


图 4 挤铸模温控制仿真模型

4.2 仿真结果分析

本研究运用 Simulink 中的 Fuzzy Logic Controller 模块对系统进行仿真,通过调整 Switch 开关的参数,切换 PID 控制器与模糊控制器,当 Switch 参数为 1 时,系统处于 PID 控制状态,当 Switch 开关参数为 -1 时,系统处于模糊控制状态,仿真结果如图 5 所示。从图 5 可看出,本系统采用模糊控制后,系统响应特性良好,相比于 PID 控制,系统超调量小,上升时间短。

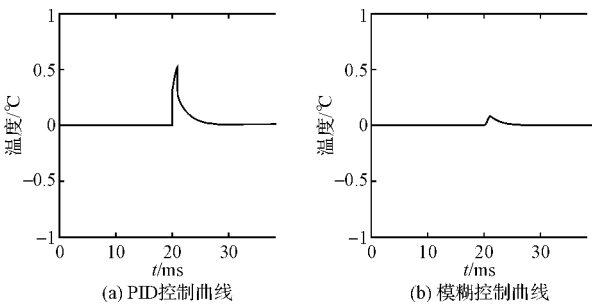


图 5 仿真结果

5 结束语

笔者在研究现有挤铸机模具加热方式、冷却方式后,建立了新的模温控制系统。同时,针对影响温度的多因素所带来的模温难于控制性,采用模糊控制方式,通过仿真并与传统 PID 控制方式比较,结果显示本系统具有良好的控制特性。本系统已应用于南通建华锻造机械有限公司生产的 630 t 多向挤压铸造机上,实际生产表明该系统具有较高的经济价值及推广意义。

参考文献 (References):

[1] XIA Yun, RICH J. Extruding casting process and quality controlling technique[C]//The 4th International Conference on Die Casting in China. Beijing, China Machine Press, 2004:47-54.

[2] 齐丕骧. 挤压铸造[M]. 北京:国防工业出版社,1984.

[3] 李彦霞. 压力下挤压铸造 Al-Cu 合金的性能研究[J]. 机电工程技术,2008,37(8):67-69.

[4] 罗守靖,陈炳光,齐丕骧. 液态模锻与挤压铸造技术[M]. 北京:化学工业出版社,2007.

[5] 蒋存波,谭平宇. 压铸模用多回路热油温控机的研制[J]. 模具工业,2002,261(11):34-38.

[6] AWEDA J O, ADEYEMI M B. Determination of temperature distribution in squeeze cast aluminium using the semi-empirical equations' method[J]. Journal of Materials Processing Technology,2009,206(17):5751-5759.

[7] 石辛民,郝整清. 模糊控制及其 MATLAB 仿真[M]. 北京:清华大学出版社,2008.

[8] CRAESSAERTS G, BAERDE-MAEKER J D, MISSOTTEN B, et al. Fuzzy control of the cleaning process on a combine harvester[J]. Biosystems Engineering,2010,106(2):103-111.

[9] 李中宁. 基于 MATLAB 的锅炉水位模糊控制系统的设计与分析[D]. 长春:长春理工大学电子信息工程学院,2008:18-21.

[10] ISHAQUE K, ABDULLAH S S, AYOB S M, et al. Single input fuzzy logic controller for unmanned underwater vehicle[J]. J. Intell Robot Syst.,2010,59(1):87-100.

[11] 梁建明. 电阻炉炉温控制系统的研究[D]. 天津:河北工业大学计算机科学与软件学院,2003:25-27.

[编辑:张 翔]