

文章编号: 1001-4934(2009)01-0001-04

基于虚拟仪器的一模多腔模温解耦控制

李 兵¹, 赵良知¹, 陈耀武¹, 黄锦强²

(1. 华南理工大学 工业装备与控制工程学院, 广东 广州 510640;

2. 广东心华药用包装有限公司, 广东 江门 529200)

摘要: 针对一步法注吹中空制品一模多腔模具在加热过程中因散热问题引起不同排布模腔的温度不均匀问题, 提出采用 LabVIEW 架构解耦控制系统软件, 应用其开发出符合系统需要的虚拟仪器, 并在此基础上, 研究在 LabVIEW 环境下实现解耦控制。实时控制结果表明, 解耦后的系统可以使各个模腔之间的控制不互相干扰, 很大程度上提高了温度控制的效果和精度。

关键词: 一模多腔; LabVIEW; 解耦; 虚拟仪器

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

Abstract: During the one-step injection blowing of hollow products using the multi-cavity mold, the problem of uneven temperature distribution in each cavity often happened. A decoupling control system was built by LabVIEW to solve the problem. And a virtual instrument was developed which could realize temperature decoupling control under the LabVIEW environment. The real-time control results showed that the decoupled system could control the temperature of each cavity separately, and could improve the effect and precision of temperature control greatly.

Keywords: multi-cavity mold; LabVIEW; decoupling; virtual instrument

0 引言

在使用一步法注吹中空制品一模多腔模具时, 因为一模多腔模具排布多个模腔, 每个模腔与模具边缘的距离不一, 这就造成了模具各腔由于散热问题引起温度不一致, 位于中心的模腔温度偏高, 而两侧的模腔温度偏低。如图 1 所示为 ANSYS 分析模型的温度分布图。

温度的不一致除了造成形腔和型芯的中心不对齐之外, 还会使中心型坯成形困难及两侧型坯难以吹胀, 造成次品的产生。这就需要

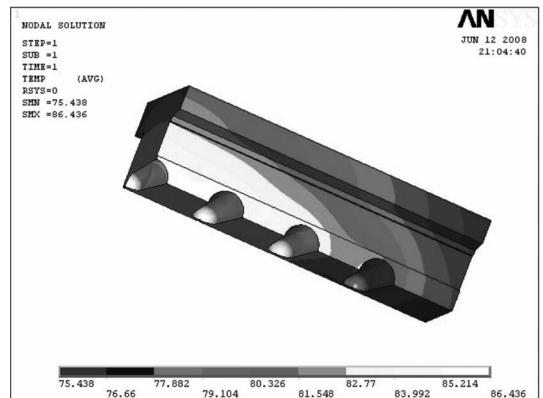


图 1 模具温度分布图

模具各腔温度进行控制, 使模具各腔温度均匀。

收稿日期: 2008-07-31

作者简介: 李 兵(1984-), 男, 硕士研究生。

在对每一个模腔温度进行控制的时候, 会涉及到温度控制之间的耦合问题, 解耦控制可以很好的解决这个问题。

1 解耦温控系统软件总体设计

对模具各腔温度进行控制, 采用 LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)公司推出的可视化的虚拟仪器系统开发平台。它是一种基于 G 语言 (Graphical Programming Language) 的革命性的图形化开发平台, 主要用于仪器控制、数据采集、数据分析和数据显示等领域。

虚拟仪器 (Virtual Instrument)是指通过应用程序将计算机与功能化模块硬件结合起来, 用户可以通过友好的图形界面来操作这台计算机, 就像在操作自己定义、自己设计的一台单个仪器一样, 从而完成对被测试量的采集、分析、判断、显示、数据存储等^[1]。

本温度控制系统的主控程序采用的是模块化的设计方法^[2], 将系统划分为 5 个功能模块, 即: 数据采集模块、数据报警模块、PID 控制器模块、解耦控制器模块、PWM 波输出模块等。为每一个模块创建 SubVI 程序, 作为未来 VI 子程序的非功能性原型表征, 同时 SubVI 程序定义图标和创建前面板, 使其包含所需的输入输出接口, 使这些 SubVI 程序去组装顶层框图。

1.1 数据采集模块

在数据采集模块中, 可实现对模具各腔温度的测量, 并把采集到的数据全部存储到数据表中, 以备今后数据处理、计算及打印。

LabVIEW 可通过数据采集卡显示实际信号波形。用数据采集卡采集实测信号时, 得到一组离散的信号值, 通过图形显示控件在计算机显示器上逐点显示并连线, 即可实现被测信号的实时显示。

数据采集模块, 其框图程序如图 2 所示。

1.2 数据报警模块

显示部分的工作是将新测得的温度分别以数字和曲线的形式在屏幕上显示, 并将数据存

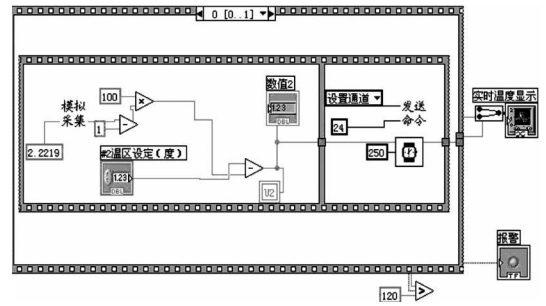


图 2 数据采集模块的框图程序

储下来。当实际温度大于温度上限值或小于温度下限值时进行超温报警。报警时系统会中断自动控温过程, 以确保人员及设备的安全。本系统中超温报警通过信号灯来实现, 即当采样得到的数据超过系统所设定的上下限时, 指示灯变红。

温度报警程序框图如图 3 所示。

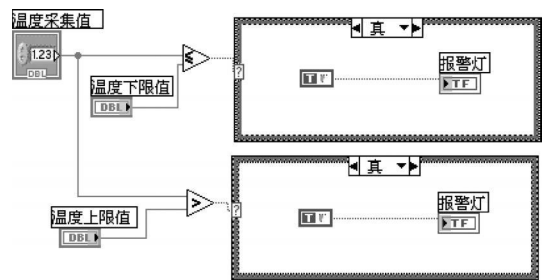


图 3 温度报警程序框图

1.3 PID 控制器模块

本文采用的是积分分离 PID 控制器, 下面主要介绍用 MATLAB Script 节点实现增量式 PID 控制算法^[3]。

LabVIEW 提供了 MATLAB Script 节点, 它的使用比较简单, 在程序中加入节点, 定义好输入输出端口, 加入 MATLAB 程序就可以了。图 4 所示为用 MATLAB Script 节点实现积分分离 PID 控制器的框图程序。

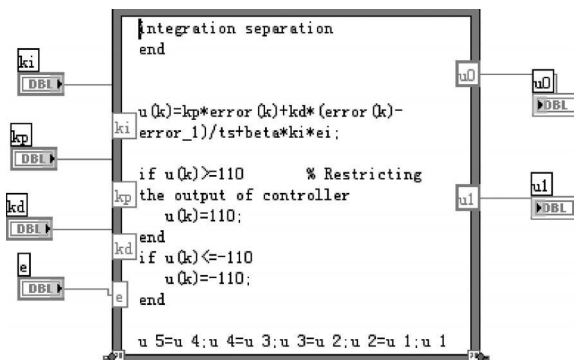


图 4 用 MATLAB Script 节点实现积分分离 PID 控制器

1.4 解耦控制器模块

动态解耦控制系统的关键性问题是设计一个准确的解耦控制矩阵, 根据系统要求得到解耦环节:

$$D(s) = \begin{bmatrix} \frac{0.745}{525s+1} & \frac{0.66}{680s+1} \\ \frac{0.43}{840s+1} & \frac{0.66}{680s+1} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{0.745}{525s+1} & \frac{0.66}{680s+1} \\ 0 & \frac{0.66}{680s+1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{3.46(840s+1)}{1600s+1} & 0 \\ \frac{1.83}{1600s+1} & 1 \end{bmatrix}$$

把式(1)中各解耦支路的传递函数表示为如下公式^[4]:

$$D_{ij}(s) = \frac{\alpha_{ij}(T_1s+1)}{(T_2s+1)} \quad (2)$$

式中, 系数 α_{ij} 、 T_1 、 T_2 均按满足支路的要求设置。设:

$$\frac{\Delta U_{ij}(s)}{\Delta U_j(s)} = \frac{\alpha_{ij}(T_1s+1)}{(T_2s+1)} \quad (3)$$

将上式写成微分方程式, 即:

$$T_2 \frac{d\Delta U'_i(k)}{dt} + \Delta U'_i(k) = \alpha_{ij} T_1 \frac{d\Delta U_j(k)}{dt} + \alpha_{ij} \Delta U_j(k) \quad (4)$$

将其转化成差分方程式:

$$\Delta U'_j(k) = \frac{T_2}{T_2+T_s} \Delta U_{ij}(k-1) + \frac{\alpha_{ij}(T_1+T_2)}{T_2+T_s} \Delta U_j(k) - \frac{\alpha_{ij}T_2}{T_2+T_s} \Delta U_j(k-1) \quad (5)$$

式中 T_s 表示采样周期。对于温度解耦控制系统, 采样周期选择为 20 s。例如解耦矩阵控制器支路:

$$D_{11}(s) = \frac{\alpha_{11}(T_1s+1)}{(T_2s+1)} \quad (6)$$

由此得到 D_{11} 支路的计算关系式:

$$\Delta u_{11}(k) = d \Delta u_{11}(k-1) + e \alpha_{11} \Delta u_j(k) - f \alpha_{11} \Delta u_j(k-1) \quad (7)$$

式中: $d = \frac{T_2}{T_2+T_s}$

$$e = \frac{\alpha_{ij}(T_1+T_2)}{T_2+T_s}$$

$$f = \frac{\alpha_{ij}T_2}{T_2+T_s}$$

$\Delta u_{11}(k)$ —— D_{11} 支路 k 时刻的增量输出

$\Delta u_{11}(k-1)$ —— D_{11} 支路 $k-1$ 时刻的增量

输出

$\Delta u_i(k)$ —— PID 调节器支路 1 在 k 时刻的增量输出

$\Delta u_i(k-1)$ —— PID 调节器支路 1 在 $k-1$ 时刻的增量输出

由此知道 D_{12} 、 D_{21} 、 D_{22} 支路的计算关系式。计算出执行器的输出增量为:

$$\Delta u'_1(k) = \Delta u_{11}(k) + \Delta u_{12}(k) \quad (8)$$

$$\Delta u'_2(k) = \Delta u_{21}(k) + \Delta u_{22}(k) \quad (9)$$

式中 $\Delta u'_1(k)$ 、 $\Delta u'_2(k)$ 表示当前时刻执行器的增量输出, 解耦模块实现温度耦合的解耦。根据上述算法, 用 LabVIEW 图形编程语言实现, 如图 5 所示。

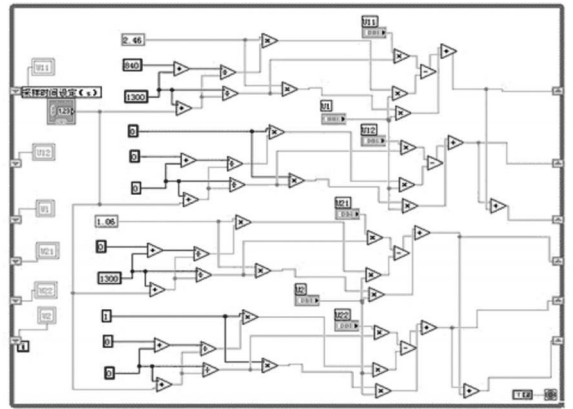


图 5 解耦控制器的程序框图

1.5 PWM 波输出模块

由于电热棒加热温度的非线性, 并具有大惯性、时变等特点, 常使模温波动较大。为提高控温实验的准确性, 在 PID 对角矩阵解耦控制的基础上增加一些约束条件, 使得对模具温度系统能得到更好的控制性能。

其主要约束条件有:

(1) 若在升温阶段 1, 温差 $c_1 \geq e_k \geq c_2$, 则采用 100% 的占空比;

(2) 若在升温阶段 2, 温差 $c_2 \geq e_k \geq c_3$, 则采用 60% 的占空比;

(3) 若在升温阶段进入慢速升温阶段, 温差 $e_k \leq c_3$, 以 $u_1(0)$ 、 $u_2(0)$ 的输出为初值, 采用解耦控制算法对模温进行控制, $u_1(0)$ 、 $u_2(0)$ 值由下面的联立公式计算。

$$\begin{cases} k_{11} u_1(0) + k_{21} u_2(0) = y_1 \\ k_{12} u_1(0) + k_{22} u_2(0) = y_2 \end{cases} \quad (10)$$

(4) 若在升温阶段进入保温阶段, 温差 $e_k \leq c_4$, 则 PWM 控制信号的占空比 τ/T 恒定, 可控硅输出恒定的功率。

增加了约束条件以后, 可使温度快速达到给定值, 即利用分段控制方法, 首先用较大的占空比, 让温度快速上升到给定值的 95% 左右, 然后再用 PID 对角矩阵解耦控制算法对模温进行控制, 取控制周期 $T=20$ s。

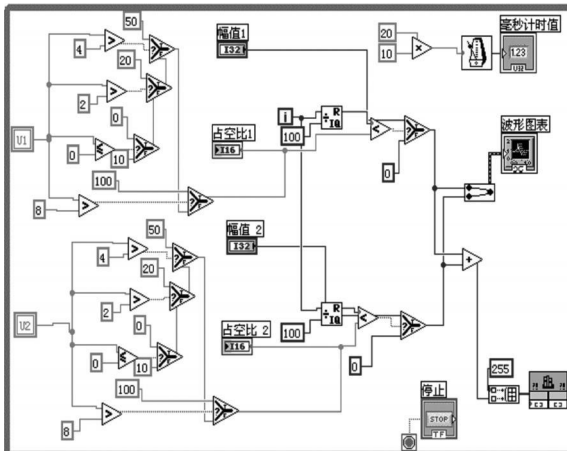


图 6 PWM 波输出程序框图

2 系统运行自检

2.1 系统前面板设计

前面板是 VI 的交互式用户界面, 外观和功能都类似于传统仪器面板, 用户的输入数据通过前面板传递给框图, 计算和分析结果也在前面板上以数字、图形、表格等各种不同方式显示出来。前面板设计应简单, 如图 7 所示。

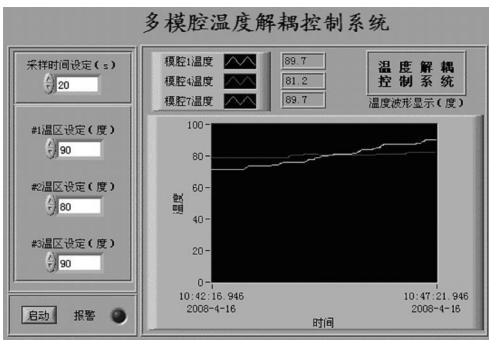


图 7 解耦系统前面板

2.2 PID 的温度控制

制, 加热 20 min 后, 温度基本恒定。温度响应曲线如图 8 所示, 由图可见, 中间模腔温度偏高, 两边模腔温度偏低。

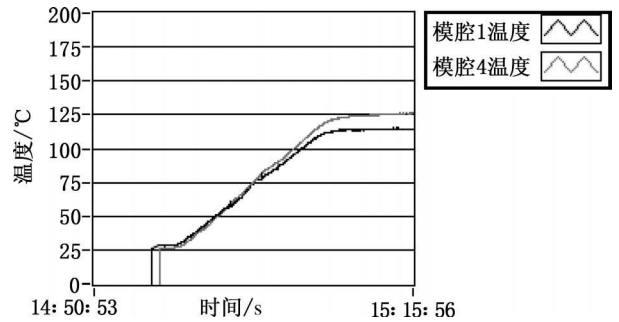


图 8 应用 PID 算法控制的温度响应图

2.3 解耦前的温度控制

基于前面分析, 模腔在生产过程中会出现中间模温高, 两边模温低的现象, 所以需要再对两边的模腔进行温度控制。在解耦前的, 中间模腔温度为 83 °C, 两边模腔温度为 72 °C, 当把两边模腔温度设为与中间模腔温度相同进行控制时, 两边模腔温度从 72 °C 增加到 82.5 °C, 但中间的模腔温度也从 83 °C 增加到 89 °C。可见, 两边模腔的温度控制对中间模腔的温度的影响较大。温度曲线如图 9 所示。

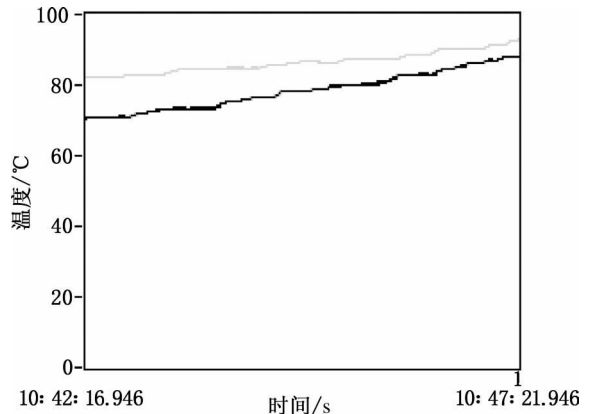


图 9 解耦前温度响应曲线

2.4 解耦后的温度控制

增加解耦控制器后, 中间模腔温度为 78.4 °C, 两边模腔温度为 68.5 °C, 当把两边模腔温度设为与中间模腔温度相同进行控制时, 两边模腔温度从 68.5 °C 增加到 78 °C, 中间的模腔温度从 78.4 °C 增加到 79.3 °C。两边模腔的温度控制对中间模腔的影响大大减少。温度

采用 PID 控制算法, 对热流道进行温度控

(下转第 20 页)

3 关键零件加工工艺

图 5 为凸模图纸, 采用冶金粉末硬质合金,

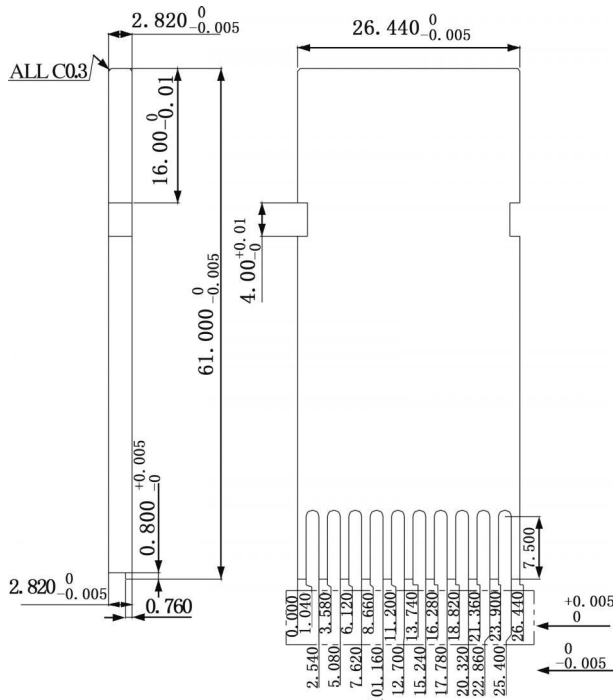


图 5 凸模

全部磨削而成, 在加工中要求磨床的精度要高。硬质合金耐磨, 但韧性差, 刃口锋利, 利于 IC 电子管脚的高速冲切。

4 结论

这套模具的结构值得其他模具设计者借鉴, 为了保证精密的小间隙配合, 要求加工时要严格按照公差进行, 这样既确保了零件的合格, 也使相同零件的互换性提高了, 除上下模座, 其他零件材料均为 SKD11, 增强了模具的寿命。

这套模具设计的根本点是以生产线的生产和模具维护为主, 实践证明, 这套模具应用得很好。

参考文献:

- [1] 王孝培. 冲压设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [2] 刘彩英. 冲模设计手册(模具手册之四)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.

(上接第 4 页)

曲线如图 10 所示。

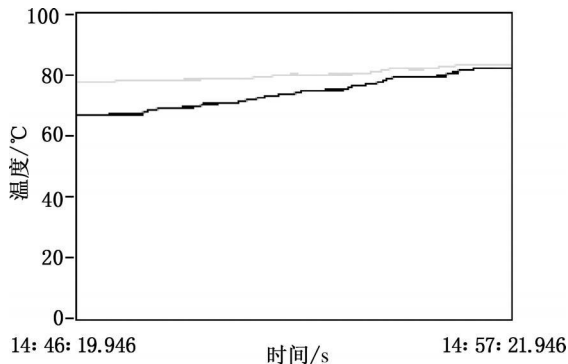


图 10 解耦后温度响应曲线

3 结论

本文根据模具温度的内在机理, 综合考虑各方面的因素, 对系统进行了数学建模, 确定其一阶纯滞后系统, 提出对两边模腔进行单独控制, 并结合解耦理论和用虚拟仪器技术进行

温度控制, 开发了温度解耦系统。系统的运行证明了该系统确实改善了模腔之间的温差, 实现解耦控制, 使得注吹中空制品过程中模具各腔温度均匀, 确保了吹塑中空制品的成形, 提高了产品质量。

参考文献:

- [1] 张 建. 虚拟仪器实验教学系统的研究[J]. 河北建筑工程学院学报, 2002, (20): 99-101.
- [2] 杨乐平, 李海涛. 自动控制[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [3] 张志平, 刘正平. 在 LabVIEW 中调用 MATLAB 的一种方法[J]. 计算机与现代化, 2005(5): 94-95.
- [4] 赵秀娟, 刘智勇. 冷热水混合系统的 DMC 解耦控制[J]. 计算机测量与控制, 2003, 11(9): 695-697.