

金属压力加工补偿温度自动控制系统

刘永平

(宁夏东方钽业股份有限公司, 宁夏 石嘴山 753000)

摘要:为提高金属压力加工质量,解决现有温度控制系统存在控制性能差的问题,设计金属压力加工补偿温度自动控制系统。改装温度传感器、补偿温度模糊控制器、加热与制冷装置,利用系统电路将改装硬件与原硬件连接,完成硬件设计。根据金属压力加工原理,构建金属压力加工热力学模型,选择最佳温度测点;利用温度传感器设备自动采集各测点实时温度,计算金属压力加工温度补偿量。在模糊控制器支持下,实现金属压力加工补偿温度自动控制。实验结果表明:设计系统温度控制误差低于 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,运行时间开销低于 $8\ 000\ \text{ms}$ 。

关键词:金属加工;加工压力;温度补偿;温度自动控制

中图分类号:TG806 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)01-0080-04

Automatic Temperature Control System for Metal Pressure Machining Compensation

LIU Yongping

(Ningxia Orient Tantalum Industry Co., Ltd., Shizuishan 753000, China)

Abstract: In order to improve the quality of metal pressure machining and solve the problem of poor control performance of the existing temperature control system, an automatic temperature control system for metal pressure machining compensation is designed. The temperature sensor, compensation temperature fuzzy controller and heating and cooling devices are refitted, and the system circuit is applied to connect the refitted hardware with the original one to complete the hardware design. According to the principle of metal pressure machining, the thermodynamic model of metal pressure machining is constructed, and the best temperature measuring point is selected. The temperature sensor equipment is used to automatically collect the real-time temperature of each measuring point and calculate the metal pressure processing temperature compensation. With the support of fuzzy controller, the automatic control of metal pressure machining compensation temperature is realized. The experimental results show that the temperature control error of the designed system is less than $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the running time overhead is less than $8\ 000\ \text{ms}$.

Keywords: metal working; processing pressure; temperature compensation; automatic temperature control

0 引言

金属压力加工是指以金属为加工对象,在外界压力作用下发生塑性变形,获得具有一定形状、尺寸和力学性能的零件。金属压力加工利用金属与压力介质间接摩擦,在压力施加过程中由于摩擦力作用产生加工温度^[1]。适度金属压力加工温度可加快金属的变形速度,降低压力施加量,从而降低加工过程中能量。但如果加工产生热量过大,则会改变金属内部组成结构,不仅降低金属质量,还可能导致大量金属原料报废。为解决金属压力加工过程中由于温度影响产生一系列问题,设计金属压力加工补偿温度自动控制系统。

温度补偿目的是降低加工效果随着温度的变化发生的偏移,而加工补偿温度控制,则是在控制程序的驱动下完成温度补偿任务。从当前的温度自动控制系统研究情况来看,发展较为成熟的研究成果应用 PLC、神经网络 PID 算法、ARM 等技术。在实际的金属压力加工工作中,

现有控制系统存在控制效果不佳问题,主要体现在温度补偿控制误差和控制程序响应速度两个方面。为此,在传统控制系统基础上,从硬件设备和软件功能两个方面,实现金属压力加工补偿温度自动控制系统的优化。

1 金属压力加工补偿温度自动控制硬件设计

1.1 金属压力加工温度传感器

温度传感器功能是采集金属压力加工的实时温度数据,为温度补偿值计算提供数据支持。温度传感器采集数据的精度,直接影响温度补偿效果。因此,选择 DS18B20 型号的传感器。该传感器具有 9~12 位的温度读数,具有较高的准确度,仅需一条信号线路即可完成信息传递。读取、写入、温度转换均由数据线路供电,无需附加电源^[2]。在获取温度后,即可将数字信号直接输出。优化后温度传感器测温电路如图 1 所示。

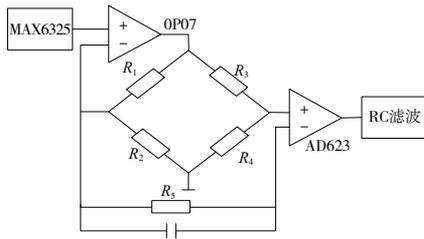


图1 温度传感器测温电路图

电桥由电阻式温度传感器 R_1 、精密电阻 R_2 、 R_3 、 R_4 构成。若 R_4 是 0°C 时的电阻,则温度回路由 0°C 起测量。电桥输出电压与电阻值变化呈比例关系,电桥的输出电压则测量到温度。电桥的输出电压很低,需要用 AD623 和 RC 滤波器进行温度信号的放大和噪声控制^[3]。

1.2 补偿温度模糊控制器

优化设计系统在传统 PID 控制器基础上改装,实现补偿温度控制器设备运行性能优化^[4]。控制器内部连接结构如图2所示。

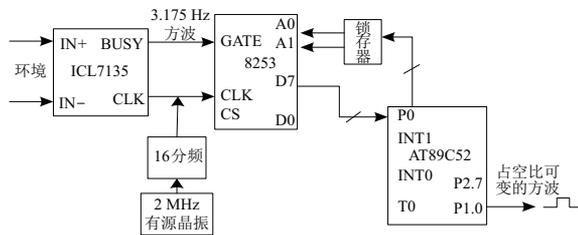


图2 补偿温度控制器结构图

除利用光耦器件 TLP521 对控制部件光电隔离外,还利用变压器对弱、强电进行功率隔离。在补偿温控器中 PWM 的输出电平为 0 V 时,该光耦元件接通,由此三极管产生有效偏压,并接通该三极管,该整流桥上电压流经该集电极电阻器,在双向晶闸管的控制端子上施加一个约 7 V 的电压,使晶闸管导通,交流通道导通,电阻器工作。

1.3 加热与制冷装置

加热和制冷设备直接作用于金属加压机的补偿设备,用于为金属加压加工部位提供充足的热量。采用 Cr20Ni80 镍铬合金丝作为加热材料,其电阻率高,抗氧化能力强,耐高温不易脆化。为防止直接接触而产生短路,在电线上加了一层绝缘层。在高温下,加热元件自身的温度可达到 200°C 或更高,在其外部配置适当的耐火材料^[5]。

优化控制系统采用耐火材料,由防火石棉制成。为降低热量损耗,提高管内温度稳定性,采用保温材料包裹钢管,使其具有一定的防火性能,并具有较低的热导率和较大的气孔率。使用的绝缘材料是石棉,这是一种常见的绝热物质,其化学成分是硅酸镁。系统采用的隔热材料为硅酸铝石棉,该产品具有抗氧化、低导热率等优点。另外,制冷装置作用是对金属压力加工温度反向补偿,制冷原理如图3所示。

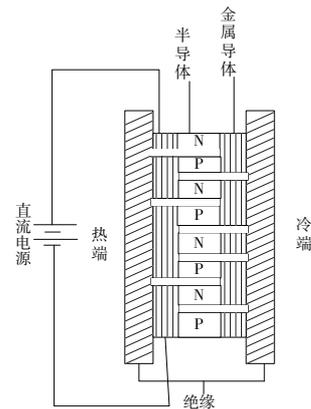


图3 制冷装置工作原理图

由制冷机组成的温控系统中,可根据 TEC 电流的大小来调整制冷效果,TEC 的电流方向可以改变它的加热和冷却端^[6]。为改善半导体制冷系统的工作效率,采用散热器对半导体热端进行散热,以减少热传导和焦耳效应对其制冷性能的负面影响。

2 金属压力加工补偿温度自动控制系统软件功能设计

2.1 构建金属压力加工热力学模型

在金属冲压加工中,由于机床内部和外部热源共同作用,产生热和热传递到机床上,导致各部件温度变化,使各零部件产生一定热变形,最后使机床和金属工件发生相对位置改变,产生热误差。金属冲压成形工艺中,由于内外热源干扰,使机械零件各个部位的温度上升,达到热平衡^[7]。不同热源,其产生的热量和环境温度都会随加工条件和时间不同而变化。由于加工设备的热容量有限,因此会出现时间上延迟。

假设金属压力加工过程中施加的压力为 F_p ,则加工过程中产生的摩擦力可表示为

$$F_f = \kappa_f \cdot F_p \quad (1)$$

式中 κ_f 为摩擦系数,由加工使用刀具以及金属工件表面粗糙度决定。在摩擦力作用下产生的热量可以表示为

$$Q = F_f \cdot A \quad (2)$$

式中 A 为摩擦面之间面积。在接触过程中通过热传导、热对流和热辐射三种形式,实现热量的传递,单位时间内左右两侧传递的热量可表示为

$$Q_{\text{transmit}} = \lambda A \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (3)$$

式中 λ 为导热系数; T_1 和 T_2 分别表示金属压力加工工件两侧的温度; L 为金属工件的厚度^[8]。热对流可分为自然对流和强迫对流两种类型。利用牛顿冷却方程描述热对流,具体方程表达式为

$$\begin{cases} Q_{q1} = \gamma_{\text{change1}} (T_{\text{Machine}} - T_1) \\ Q_{q2} = \gamma_{\text{change2}} (T_2 - T_{\text{Machine}}) \end{cases} \quad (4)$$

式中 γ_{change1} 和 γ_{change2} 为不同位置上对流换热系数; T_{Machine} 为金属压力加工机床的温度值。在温度超过绝对 0°C 的

情况下,物体会发出电磁波,将热量转换为辐射能量。在不同地表温度下,利用热辐射模式进行热交换的过程称为辐射换热。

2.2 选择最佳温度测点

在布设测点时,既要注意位置是否合适,又要注意其数目是否合理。在整个温度补偿系统中,应将测量点设置在对信号反应最敏感、受干扰最少的区域,并依据其位置特殊性决定测量点数^[9]。在保证可视性和可控性前提下,尽量将测点设置在热源或热变形最大位置,测点之间位置不能过于靠近,测点位置不得对金属压力加工的运转产生任何影响。根据构建金属压力加工热力学模型可确定热量产生与传递的位置,并将该位置作为测点的预设位置。测点数量选择主要通过式(5)计算。

$$N_{\text{Meas}} = \text{round}\left(\frac{A}{d_{\text{min}}^2}\right) \quad (5)$$

式中: d_{min} 为任意两个传感器间允许的最小距离值; $\text{round}(\cdot)$ 为取整函数,保证式(5)计算得出的结果为正整数。金属压力加工面长度与 N_{Meas} 比值,即为最佳温度测点的实际布设距离^[10]。

2.3 计算金属压力加工温度补偿量

根据金属压力加工原理及温度约束条件,可以确定金属的理想加工温度,记为 T_{ideal} 。结合温度传感器的数据采集结果,利用式(6)可以得出温度补偿量的计算结果。

$$\Delta T_{\text{com}} = |T_{\text{ideal}} - T_{\text{act}}| \quad (6)$$

式中 T_{act} 为实际温度测量数据。结合金属压力加工热力学模型,将温度补偿量分配给各个测点。

2.4 金属压力加工补偿温度自动控制功能

将得出温度补偿量计算结果导入到模糊控制器中,经过精确量模糊化、确定控制规则以及反模糊化步骤,完成金属压力加工的补偿温度控制。温度补偿量的模糊化处理结果表示为

$$y = \frac{12\left(\Delta T_{\text{com}} - \frac{a+b}{2}\right)}{b-a} \quad (7)$$

式中 a 和 b 为模糊化处理上、下限值,根据模糊条件及模糊关系合成可得到模糊控制规则设定结果。当温度偏差为负值,则需尽可能消除误差,应采取更小的控制。在误差大于0情况下,控制量改变被视为正中。在有较大偏差的情况下,控制量不宜增大,以免引起过调误差,从而使控制量改变为0级。在模糊规则的支持下,对推理结果进行反模糊化处理,处理结果可以表示为

$$C_{\text{OG}} = \frac{\sum_{i=1}^n y' \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i} \quad (8)$$

式中 y' 和 φ_i 分别为模糊推理结果及其隶属度。反模糊化处理结果即为金属压力加工补偿温度的控制信号。在温度补偿控制过程中可以通过判断 T_{ideal} 和 T_{act} 的大小关系,确定执行低温补偿或高温补偿任务。若执行低温补偿,则

控制器输出的控制信号直接作用在制冷装置上,否则控制信号驱动加热装置。

3 系统测试

3.1 金属压力加工设备与实例数据准备

为降低实验成本,此次实验选择加工金属材料为铁和铜,使用加工设备为锻造机和轧制机。为保证实验结果的可信度,系统测试实验共设置4个测试实例,分别为金属铁的锻造加工实例、金属铜的锻造加工实例、金属铁的轧制加工实例和金属铜的轧制加工实例。其中,锻造工具均选择自由锻造方式,即将加热后的金属材料在上下铁砧之间受到冲击或挤压而产生变形的工艺。而热轧则采用热轧工艺,即在生产中要对金属坯料进行加热。根据对金属压力加工结构质量、形状及物理性质的要求,推导加工过程中理想温度数据,并以此作为验证设计系统控制效果对比标准数据。

3.2 硬件设备安装与调试

在各金属压力加工设备和金属坯料测点位置上,安装传感器设备,安装结果如图4所示。

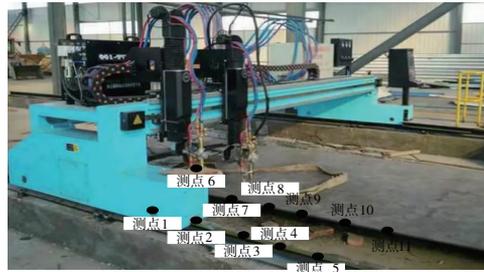


图4 温度传感器设备安装实景

将模糊控制器、加热和制冷装置等设备安装在指定位置上,利用终端接口将所有的硬件设备与主测计算机连接。同时,启动硬件设备观察主测计算机界面是否能够正常输出温度数据,根据控制指令观察相应数据变化,若调试结果正常,可进行下一步系统测试操作。

3.3 设置系统测试指标

此次系统测试实验分别从系统控制功能和运行性能两个方面测试。其中,控制功能的量化测试指标为温度补偿控制误差,其数值结果为

$$\varepsilon_T = T_{\text{set}} - T_{\text{out}} \quad (9)$$

式中 T_{set} 和 T_{out} 分别表示设置温度控制目标值和应用控制系统下的实际温度补偿结果。设置温度的控制时间开销来反映系统的运行性能,其数值结果如下:

$$\tau = \tau_{\text{col}} + \tau_{\text{cal}} + \tau_{\text{imp}} \quad (10)$$

式中 τ_{col} 、 τ_{cal} 和 τ_{imp} 分别表示传感运行时间、温度补偿量计算时间和控制程序执行时间。最终计算得出的温度补偿控制误差越大,说明系统的控制功能越差;而控制时间开销越大,证明系统的运行时效性越差。令 ε_T 和 τ 的预设值分别为 1.0°C 和 $8\ 000\ \text{ms}$,要求设计系统的测试指标结

果不得高于预设值。

3.4 系统测试过程与结果分析

在硬件安装并调试完成基础上,将优化设计的金属压力加工补偿温度自动控制系统软件功能转换为主测计算机,直接读取的程序代码,并得出系统运行主界面,如图5所示。

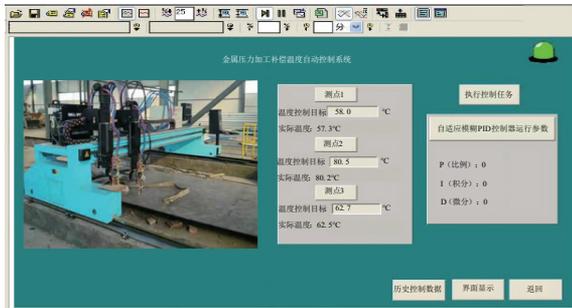


图5 温度控制系统运行主界面

图5表示在温度控制系统界面中输入金属压力加工的温度控制目标,同时启动金属压力加工工艺和系统的控制程序,利用温度传感器实时获取并输出各个测点上的温度变化数据。图6为金属铁的锻造加工实例中1测点的温度控制输出结果。

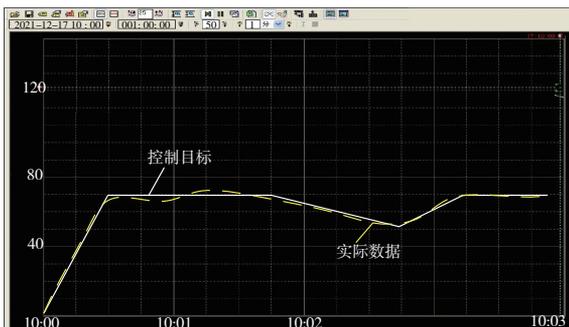


图6 金属压力加工温度控制曲线

同理可以得出其他加工实例中其他测点的温度测试结果,如表1所示。

表1 应用控制系统的实际温度数据表

金属压力加工实例	数据编号	控制目标温度值/°C	应用控制系统下的实际温度值/°C
铁的锻造	1	58.0	57.3
	2	80.5	80.2
	3	62.7	62.5
铜的锻造	1	55.5	55.4
	2	76.3	76.2
	3	70.8	70.5
铁的轧制	1	62.1	62.0
	2	70.5	70.3
	3	43.2	43.1
铜的轧制	1	58.7	58.4
	2	89.5	89.2
	3	43.1	43.1

将表1中数据代入式(9)中,得出设计系统的温度补偿控制误差的平均值为0.225°C,低于预设值,即设计系统满足对控制功能的要求。

通过控制系统后台数据的提取,得出系统运行性能的测试结果,如图7所示。

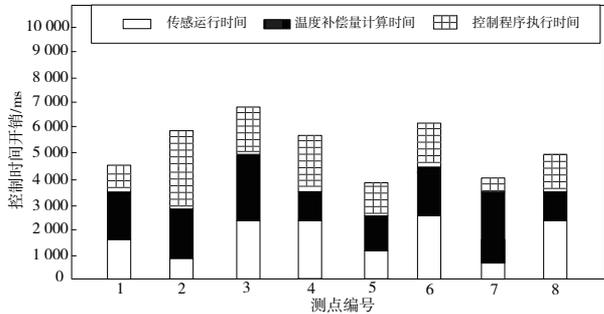


图7 系统运行性能测试结果

通过式(10)计算,可确定金属铁轧制加工实例的控制时间开销最大。计算结果为6 800 ms,低于8 000 ms。由此可见,设计金属压力加工补偿温度自动控制系统的运行性能满足设计与应用要求。

4 结语

应用优化设计金属压力加工补偿温度自动控制系统,结合金属压力加工工艺的特点,可以很好地解决在非恒温环境下由于热变形产生的加工误差问题。但在实际中导致金属压力加工误差因素众多,要想得到质量较高的金属压力加工结果,还需对其他因素进一步分析。

参考文献:

- [1] 胡凯,何永玲,胡文睿. 基于STC8H单片机的牛大力藤蔓茶加工温度控制系统设计[J]. 装备制造技术,2021(5):6-10.
- [2] 李伟,梁睿君,王志强. 基于840D数控系统温度补偿功能的误差补偿系统[J]. 机械制造与自动化,2021,50(2):91-94.
- [3] 范蟠果,刘经纬,王超然,等. 基于PLC的模糊PID冷却液温度控制系统的设计[J]. 工业仪表与自动化装置,2020(1):69-72.
- [4] 雷翔霄,徐立娟,唐春霞. 基于神经网络PID算法的镀液温度控制系统[J]. 电镀与精饰,2020,42(8):39-42.
- [5] 李琦楠,董海,徐鹏. PCD刀具高频感应钎焊温度控制系统设计[J]. 机械工程与自动化,2020(4):168-170.
- [6] 聂宵,徐广平,房孝俊. 基于STM32的高精度温度控制系统设计[J]. 激光与红外,2020,50(1):107-110.
- [7] 邓圭玲,冯志逸,周灿. 基于模糊PID的点胶阀温度控制系统设计[J]. 传感器与微系统,2021,40(6):98-100.
- [8] 刘尘尘. 基于ARM的嵌入式自适应温度控制系统设计[J]. 沈阳工业大学学报,2020,42(4):448-452.
- [9] 陈云霞,李松青. 基于PLC的镀槽温度控制系统设计[J]. 机械与电子,2021,39(2):30-32.
- [10] 龚育林. 基于模糊PID自适应整定参数的反应釜温度控制系统[J]. 东莞理工学院学报,2021,28(1):102-106.

收稿日期:2022-01-14