

激光焊机保护气压力非线性补偿模糊 PID 控制

孙鹤旭, 谌海栋, 陈海永, 董 砚

(河北工业大学 控制科学与工程学院, 天津 300130)

摘要: 在激光焊接过程中, 保护气压力控制对焊接质量有着重要的影响。为了精确控制小流量时的保护气体压力, 本文提出了保护气压力非线性补偿模糊 PID 控制的控制方法。该方法在 PCS7 平台基础上实现, 通过 SIMULINK 仿真软件进行了控制器的参数整定和控制效果仿真。仿真试验结果证实, 本控制方法可以使压力输出快速达到设定值, 缩短调整时间, 达到了较高的控制精度, 实现了良好的压力控制效果。在实际焊接应用中得到了质量良好的焊缝。

关键词: 激光焊接; 保护气体压力; 非线性补偿; 模糊 PID 控制

中图分类号: TG456.7; TP273 **文献标志码:** B

0 引言

随着激光焊接技术的不断发展, 激光焊接广泛地应用于冶金行业, 如某 1 980 mm 热连轧机薄板生产线上, 采用激光焊机对薄板进行焊接, 以保证生产的连续性。

在焊接过程中, 高功率激光束打到金属表面容易使金属发生氧化, 同时激光束的照射会使金属熔化并蒸发形成蒸汽云, 激光会加热在入射光束方向

上的蒸汽云, 并使其发生电离形成等离子体, 这些等离子云团对激光有折射和吸收作用, 直接影响熔深的深度, 导致出现焊接质量问题^[1]。为了保证焊接金属强度, 防止空气中的氢、氧等的侵入影响焊接质量, 避免焊渣飞溅, 同时消除等离子团对焊接的影响, 需要对焊接区域进行保护。常用的保护气体, 包括二氧化碳、氮气、氩气和氦气以及几种气体的混合气体。作为气体, 它们具有黏性和可压缩性等特点, 而且在小流量时, 气体压力的控制具有非常明显的不确定性和非线性^[2]。由于压力控制为一个小流量到大流量的变流量过程, 现有控制方法无法解决小流量时的非线性及由小流量向大流量平稳过渡的问题。为了得到较好的焊缝, 保证激光头的安全, 笔者提出了保护气非线性补偿模糊 PID 控制算法。

收稿日期: 2012-07-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61203275); 天津市应用基础与前沿技术研究计划资助项目 (11JCYBJC06500); 河北省高等学校科学研究计划项目 (Z2012016)

器, 具有无需掉电记忆功能, 可对剪切管子的长度进行实时测量。采用了特种型的 PLC, 其具有强大的数据处理、数据运算功能和多点实时通信功能。同时基于目前迅速发展的数字信息技术, 采用了伺服驱动器, 可实现调压、变频等控制, 使得控制更加的灵活、方便。

参考文献:

[1] SCHOLER GMBH SPEZIALMASCHINENBAU, Operating Manual RS200 Cut-off[Z]. 2007.

[2] 西门子公司. SIEMENS SIMATIC STEP 7 V5.4使用手册[Z]. 北京: 西门子(中国)有限公司, 2007.

[3] 西门子公司. SIMATIC组态硬件和通讯连接手册[Z]. 北京: 西门子(中国)有限公司, 2007.

[4] 胡学林. 可编程控制器原理及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 65-68.

[5] 杨成菊. 一中 PLC 飞剪控制系统的设计[J]. 廊坊师范学院学报, 2010 (12): 45-47.

作者简介: 张 杰 (1985—), 男, 陕西商洛人, 在读研究生, 主要从事材料成形与控制工程研究。

1 控制系统结构与配置

在大功率激光焊接系统中, 保护气控制系统由减压阀、机械伺服阀、上位机、PLC (包含模拟量输入模块、模拟量输出模块等)、压力传感器、控制软件、管路、气瓶等组成, 如图 1 所示。

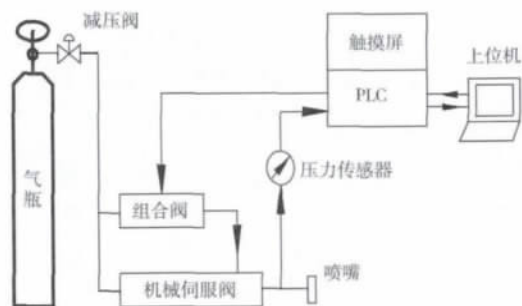


图 1 大功率激光焊接控制系统组成

图 1 中, 气瓶为高压气源, 用于存储保护气, 为压力控制系统提供较高压力的来源; 气体阀门用于使保护气压力降至所需范围, 再经过精确控制, 保证压力输出值稳定; 压力传感器用于将管路中的压力值转换成标准的 4~20 mA 电流信号, 输出给 PLC 的模拟量输入端, 实现控制系统实时压力值的采集; PLC 接收上位机设定的压力值, 将压力传感器传送的模拟信号转换为数字信号, 经非线性补偿模糊 PID 运算后, 送伺服阀实现压力控制。该设计中由 WINCC 传递给 PLC 压力设定值, 上位机与下位机通信采用工业以太网实现。

2 压力控制器设计

2.1 控制规律选择

常用压力控制方法:

(1) 采用传统的 PID 控制。参考文献[2]中采用该方法, 由文献得知, 由于控制系统的抗干扰性能较差, PID 的参数不能实时调节, 很难应用于参数实时变化的非线性系统。

(2) 采用模糊控制。参考文献 [3] 中采用该方法, 由文献可知, 对于控制精度要求较高的系统, 由于其无法消除系统稳定误差而无法达到控制要求。

(3) 采用模糊 PID 控制。参考文献[4]中采用该方法。由文献可知, 与传统 PID 控制器相比, 模

糊 PID 在稳态性能、响应时间、超调量等指标上有很大的提高, 控制器性能有较大的改善。但在变流量非线性系统中, 模糊 PID 的控制效果还不太理想。

考虑到激光焊机保护压力系统要求压力能够快速跟随钢板种类以及激光功率的变化而变化, 并且不允许有大的超调。通过分析比较, 笔者采用了由 PLC 实现的非线性补偿模糊 PID 控制, 在模糊 PID 控制器基础上, 加入了非线性补偿环节, 并可在非线性补偿与模糊 PID 这 2 种控制器之间切换, 很好地实现了压力变流量过程的控制。

2.2 建立模糊 PID 控制器

PID 控制器的控制规律为:

$$u(k) = k_p e(k) + k_i \sum_{i=0}^k e(k) + k_d e_c(k), \quad (1)$$

式 (1) 中: k_p 为比例系数; k_i 为积分系数; k_d 为微分系数。

模糊 PID 控制系统结构如图 2 所示, 控制器采用二输入三输出的形式, 以偏差 e 和偏差变化率 e_c 作为系统输入变量, 以 PID 参数微调量 Δk_p , Δk_i , Δk_d 为输出变量。

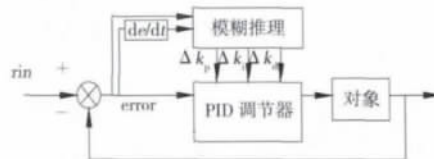


图 2 模糊 PID 控制系统结构图

控制器各变量模糊子集均为 {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}, NB 采用 Z 型隶属度函数, PB 采用 S 型隶属度函数, 其余采用三角形隶属度函数, 因此可得出各模糊子集的隶属度函数曲线。

在 MATLAB 中建立模糊控制器。在线运行过程中, 控制系统通过对系统偏差 e 和偏差变化率 e_c 的计算, 经模糊控制器的模糊推理单元处理, 查表和运算得出微调量 Δk_p , Δk_i , Δk_d , 分别加到基础 PID 参数上得到对应的实时 k_p , k_i , k_d 。送到 PID 控制器的参数设定端对 PID 控制器进行调节, 使其适应于不同的干扰和工况。

2.3 对象模型建立

查文献[5]知电气比例阀的对象函数为二阶函数,

并将该传函改成电气比例阀门执行器的近似传函:

$$G_0(s) = \frac{1}{s^2 + 5.936s + 15.620}, \quad (2)$$

同时用一阶惯性传函近似描述压力伺服阀:

$$G_1(s) = \frac{1}{s + 0.064}, \quad (3)$$

由式(2),(3)得,整个压力对象的传函如式(4)所示:

$$G(s) = G_0(s) \cdot G_1(s) = \frac{1}{s^3 + 6s^2 + 16s + 1}. \quad (4)$$

2.4 控制器在 PLC 中的实现

该系统为压力闭环控制,以压力给定值与测量值的偏差 e 和偏差变换率 e_c 作为系统的输入量,阀开度为输出量。由 PLC 和伺服阀实现控制功能,基于 CFC (连续功能图表) 和 SCL 结构化控制语言混合编程,控制器工作原理如图 3 所示。

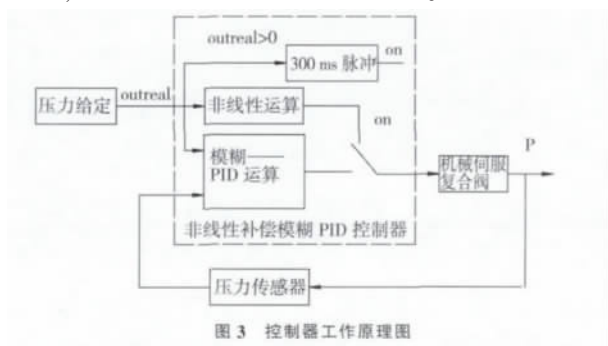


图 3 控制器工作原理图

压力值给定: 进行压力给定时, 上位机 WINCC 监控页面显示压力设定窗口, WINCC 接收线 PLC 传来的实时数据, 可利用自身专家数据库中相关参数进行计算, 自动将输出值下载到 PLC, 也可由现场控制人员对其输出值进行修改后, 手动下载到 PLC。

调节过程分为手动调节和自动调节过程。

手动调节过程: 需要气体时, 由 PLC 根据程序

设定从 WinCC 中对应的 EXIT 框中调数据, 当该值大于 0 时, 输出时间为 300 ms 的脉冲信号, 该时间段内 PID 不起作用, 处于手动调节。手动调节信号代替模糊 PID 运算中的操作值。在这里是非线性补偿作为手动调节信号。手动调节信号的计算公式 (非线性补偿):

$$\text{out} = a_3 \times p^3 + a_2 \times p^2 + a_1 \times p^1 + a_0 \times p^0, \quad (5)$$

式 (5) 中: $a_0 \sim a_3$ 为构成非线性补偿的系数; p 为非线性补偿的基准值。

模糊 PID 自动调节过程: 当上述过程经 300 ms 后, 手动开关信号为 0, 调节不起作用, 这时模糊 PID 调节器开始起作用, 实时监测系统当前压力值, 并与从 WINCC 中传递来的气体压力设定值作比较, 得到压力偏差 e 及偏差的变化率 e_c , 通过变量模糊化到论域, 在模糊规则基础上得到控制的模糊输出, 并进行反模糊化得到对应 PID 3 个参数的微调量值, 传递给 PID 调节器进行 PID 运算, 使压力控制参数指标适合于不同 e 和 e_c , 实现压力精确控制。

经过上述的非线性补偿模糊 PID 控制系统的控制, 能够保证保护气压力精确到 ± 1 Pa, 达到了既保护激光剪切的质量安全又不浪费原料的目的。

3 控制方法测试

3.1 仿真软件测试

本文采用的仿真软件是 MATLAB 中的 SIMULINK 工具包。控制过程 SIMULINK 仿真模型如图 4 所示。

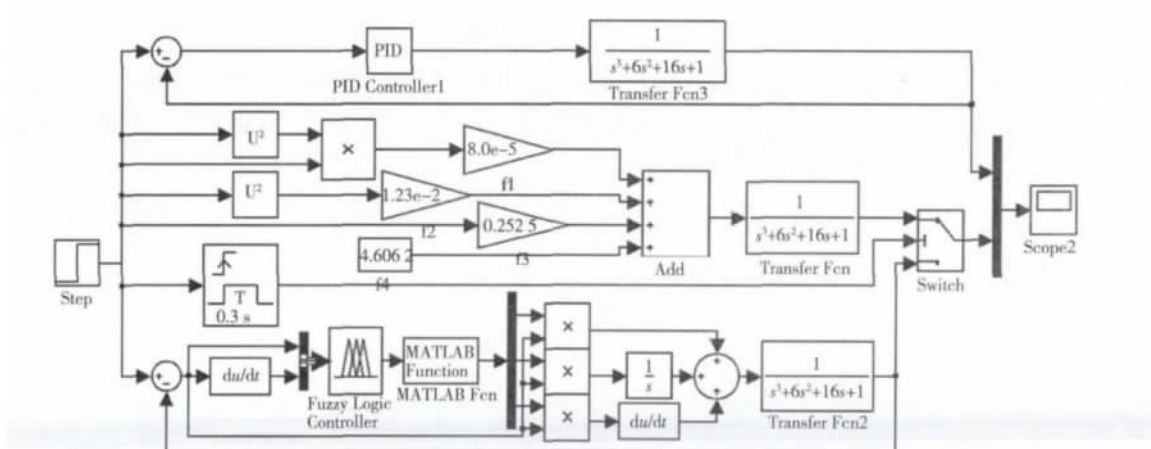


图 4 控制过程 Simulink 仿真模型

在仿真模型中,各部分由上到下依次为:常规 PID 控制器、非线性补偿与模糊 PID 控制器切换和模糊 PID 控制器。控制模糊仿真结果如图 5 所示。

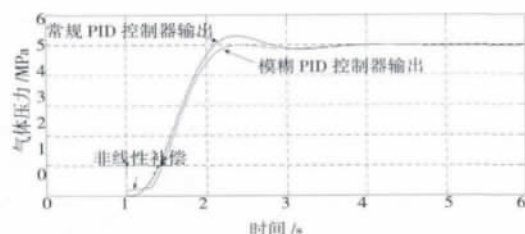


图 5 控制过程仿真结果

从图 5 的对比曲线中可以看出,非线性补偿模糊 PID 控制器的系统输出性能指标为:最大超调量 $\delta_1 = \frac{5.003 - 5}{5} \times 100\% = 0.074\%$; 过渡时间(调节时间) $t_{s1} = 3.26$ s; 稳态误差 $e = 0.0035$ 。

常规 PID 控制器下的系统输出的性能指标:最大超调量 $\delta_2 = \frac{5.302 - 5}{5} \times 100\% = 6.04\%$; 过渡时间(调节时间) $t_{s2} = 3.49$ s; 稳态误差: $e = 0.0171$ 。

通过比较可以看出,在超调和稳态误差等性能方面,非线性补偿模糊 PID 控制都明显优于常规 PID 控制。

由上述的仿真结果可知,在本系统中,当气体流量小时,非线性环节可以使输出迅速达到一定值,以保证焊接开始时的系统安全,经过一定时间后,使输出平滑过渡到模糊 PID 控制,实现了小流量的非线性补偿及小流量到大流量的平稳过渡。由此验证了在气体流量小时加入非线性补偿的控制算法的可行性。

3.2 现场生产测试

某热连轧机薄板生产线中采用的是克莱西姆 LW21L 型 CO₂ 激光焊机,焊缝宽度不大于 0.5 mm,由于焊接钢板为薄板,在焊接过程中,当高功率激光束打在金属表面上后极易使金属熔化并蒸发形成蒸汽云,形成等离子体,直接影响熔深,从而导致出现焊接质量问题。将本保护气控制方法在实际生产过程中进行了应用测试,应用在 0.8 mm 的钢板

焊接过程中的焊缝形貌如图 6 所示。从图 6 可以看到,测试焊接过程稳定,焊缝均匀,无毛刺和突起,表面光滑无气泡,焊缝未被氧化,得到了焊接质量良好的焊缝,表明本控制方法在实际应用中能满足相关要求。

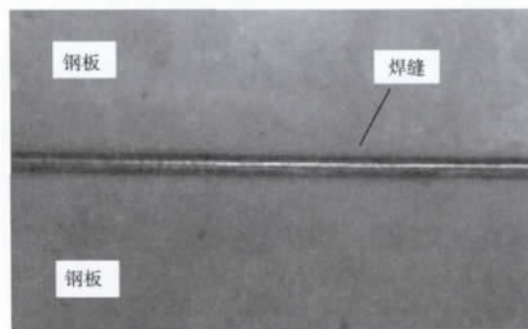


图 6 焊缝形貌图

4 结论

本气体压力控制方法可以实现小流量补偿、大流量精确控制的良好控制效果,鲁棒性较好,保证了控制的快速性、准确性和稳定性。应用于实际之后,能够使压力输出快速达到设定值,避免出现过大波动,缩短了调整时间,获得了较高的控制精度,实现了良好的压力控制效果,得到了焊接质量良好的焊缝。

参考文献:

- [1] 王 剑, 刘玉麟. CO₂ 激光深熔焊缝影响因素[J]. 金属世界, 2008(3): 55-58.
- [2] 李 娟, 刘鸿飞. 高压压力及流量控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2007(5): 35-36.
- [3] 郭明威, 朱家海, 谢 聂. 基于模糊控制的数字式全静压控制器的设计[J]. 仪表技术, 2008(5): 18-23.
- [4] 成秋平. 一种新型微压力控制系统的设计[J]. 计算机与数字工程, 2009(8): 150-152.
- [5] 吴海列. 气辅注塑的压力控制方法研究[D]. 浙江 杭州: 浙江工业大学, 2006: 23.

作者简介: 孙鹤旭 (1956—), 男, 辽宁锦州人, 教授, 博士生导师, 主要从事电气传动、激光焊接等领域的研究。

studied and compared the contained residue stresses, the fatigue properties and the change of micro-structures before and after VSR treatment. The experiments show that the VSR treatment can significantly reduce the residue stress, at the same time do not negatively affect the fatigue property and even enhance the stability of the anti-fatigue property of the structure. The micro-structure will keep as the same but under the TEM the micro dislocations become more. The research results provide new theoretical basis in the industrial application of VSR technique of offshore platform welded structures.

Key words: D36 steel, vibration stress relief, welding, residue stress, metallography, transmission, fatigue

Fuzzy PID with nonlinear compensation control to the shielding gas pressure of laser welding machine

SUN He-xu, CHEN Hai-dong, CHEN Hai-yong, DONG Yan

(School of Control Sciences and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China) P45-48

Abstract: During the laser welding, the shielding gas pressure control plays an important role in laser welding quality. In order to accurately control the gas pressure with small flow, a fuzzy PID control method with nonlinear compensation is proposed. Then the method is realized by using the process control system platform (PCS7). The simulation and experiment results show that the presented control method can drive the output of nitrogen pressure to reach to the set-value rapidly, shorten the adjustment time, and achieve good accuracy in pressure control. In the practical application of the control method, high quality weld is also obtained.

Key words: laser welding, shielding gas pressure, nonlinear compensation, Fuzzy PID control

Application of improved integral difference method in the detection of welding gun walking angle

ZENG Zhi-ying¹, ZHANG Hua², YE Yan-hui², WU Yang²

(1. System of Electronics, Information Engineering School of Nanchang University, Nanchang 330031, Jiangxi pro., China; 2. Key Lab of Robot & Welding Automation of Jiangxi, Nanchang University, Nanchang 330031, Jiangxi pro., China) P52-55

Abstract: The detection of welding gun walking angle is the important condition for improvement of the welding quality and the realization of seam tracking. Firstly, establish the mathematics model of the change of welding gun walking angle, welding deviation and the change of rotating arc length and then with Matlab simulation. Secondly, introduce the detection theory of welding gun working angle, by using the welding gun current integral difference method through weighting the interval, directly get the characteristics harmonic value which can reflect the information of welding gun attitude from the rotating arc signal. Lastly, on the basis of the theory derived and simulation, get a conclusion that detection of welding gun walking angle and weld deviation is uncorrelated.

Key words: rotating arc sensor, detection of welding gun walking angle, integral difference, welding gun attitude

Experimental analysis of detection on arc welding types uncovered by the feature library through dimension reduction of two factors

GAO Li-wen^{1,2}, XUE Jia-xiang², CHEN Hui², LIN Zhi-hui², SHI Wei²

(1. School of Medical Information Engineering, Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510006, Guangdong pro., China; 2. School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, Guangdong pro., China) P59-63

Abstract: The self-adapting online detection on dynamic characteristics of multiple types of arc welding power sources can be carried out through dimension reduction of two factors. This method is expected to solve the problem that the research in monitoring technology falls behind the innovation in arc welding power supplies. As is mentioned in this paper, in order to test the effectiveness of this method in detecting new types of arc welding power sources uncovered by the system, features of double pulse welding were excluded from the feature library. Afterwards a self-adapting detection experiment was performed on double pulse welding. The results demonstrate that this method greatly facilitates the detection on double pulsed welding, which definitely proves its effectiveness in monitoring the arc welding types uncovered by the feature library. As a result, this method is of immense practical importance, for it enables ordinary users to detect new types of welding machines through the system realized by this method.

Key words: double pulse, arc welding power source, dimension reduction, detection