

DOI: 10.3969/j.issn.1001-3881.2014.07.010

基于模糊PID的闪光焊机液压系统的压力同步控制研究

王睿¹, 张军伟¹, 梁涛¹, 高忠林²

(1. 河北工业大学控制科学与工程学院, 天津 300130; 2. 天津七所高科技有限公司, 天津 300409)

摘要: 介绍了闪光焊机的液压系统的组成及其工作原理, 建立了闪光焊机液压系统的数学模型。针对闪光焊接的顶锻阶段, 提出了一种基于二级模糊自调整PID的控制模型, 第一级模糊PID控制应用于基准通道, 第二级模糊PID控制应用于同步通道, 实时地调整PID参数以达到系统的同步运动, 该控制方法有效减少了两个系统的压力动态同步误差。

关键词: 闪光焊机; 液压系统; 模糊PID

中图分类号: TH39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3881(2014)7-036-3

Study of Synchronous Control of Hydraulic System of Flash Butt Welder Based on Fuzzy PID

WANG Rui¹, ZHANG Junwei¹, LIANG Tao¹, GAO Zhonglin²

(1. School of Control Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;
2. Tianjin 707 Hi-tech Co., Ltd., Tianjin, 300409, China)

Abstract: The configuration and working principle of hydraulic system of flash butt welder were presented, and the mathematic model of hydraulic system of flash butt welder was established. The control model based on two-class fuzzy self-adjustment Proportion-Integral-Differential (PID) was introduced by aiming at the top-forging stage of the flash butt welding. The First-class fuzzy PID control was used for benchmark access, and the second-class for simultaneous access, the PID parameters were adjusted in real-time to achieve simultaneous movement of the system. The control methods are effective in reducing the synchronous dynamic error of pressure on the two systems.

Keywords: Flash butt welder; Hydraulic system; Fuzzy PID

闪光对焊作为一种高效的焊接手段被广泛地应用于机电、建筑、冶金、交通石油钻探等行业。闪光对焊的原理: 固定夹具和活动夹具将被焊件夹紧, 接通焊接变压器, 然后向前移动活动夹具, 在焊件接触端面轻微地接触时, 开始通电加热, 并在接触点加热处形成液态金属过梁, 过梁爆破产生火花喷射, 形成连续的闪光, 此阶段称为闪光对焊的闪光阶段。当闪光加热达到一定温度时, 活动夹具突然加速, 以一定的压力使焊件熔化的端面互相挤压, 焊接区域发生塑性变形, 接合面处交互结晶, 形成牢固的焊接接头, 该阶段称为闪光对焊的顶锻阶段^[1]。

1 闪光焊机的顶锻液压系统组成

顶锻液压系统是闪光焊机中非常重要的一个液压回路, 钢坯的闪光焊接是否成功, 取决于钢坯的送进速度是否与闪光曲线一致。在闪光阶段, 为了保证闪光稳定而激烈地进行, 不得发生间断闪光和短路现象, 顶锻液压系统以较小的速度向前送进, 确保钢坯

的送进速度等于钢坯的烧化速度。在顶锻阶段, 活动夹具以较高的速度向前送进, 迅速封闭熔化端面间隙, 并且以一定的压力使熔化的端面互相挤压, 其产生足够的塑性变形, 达到永久连接的目的^[2-3]。该阶段必须满足两个条件: 第一要有足够大的顶锻力, 以便使接头产生应有的塑性变形, 第二要有足够大的顶锻速度, 以排除氧化物和液态金属。顶锻液压系统在整个闪光焊机液压系统中占有重要的位置。

闪光焊机的顶锻液压系统组成如图1所示。顶锻液压系统的油路分析: 高压油液从P口, 经过单向阀1, 流至先导减压阀2减压。当先导电磁换向阀4左路接通, 液压油流入顶锻液压缸大腔, 溢流阀3和串联在回油路上的节流阀控制调节流出顶锻液压缸的油液流量, 从而控制顶锻液压缸的送进速度; 当先导电磁换向阀右路通, 液压油由单向阀流入顶锻液压缸小腔, 顶锻液压缸大腔的液压油流入出油口。达到快速返回的目的。

收稿日期: 2013-03-04

基金项目: 天津市应用基础及前沿技术研究计划项目(11JCYBJC06500)

作者简介: 王睿(1978—), 女, 讲师, 博士, 主要从事焊接自动控制方面的研究工作。通信作者: 张军伟, E-mail: junweizhanghebut@163.com。

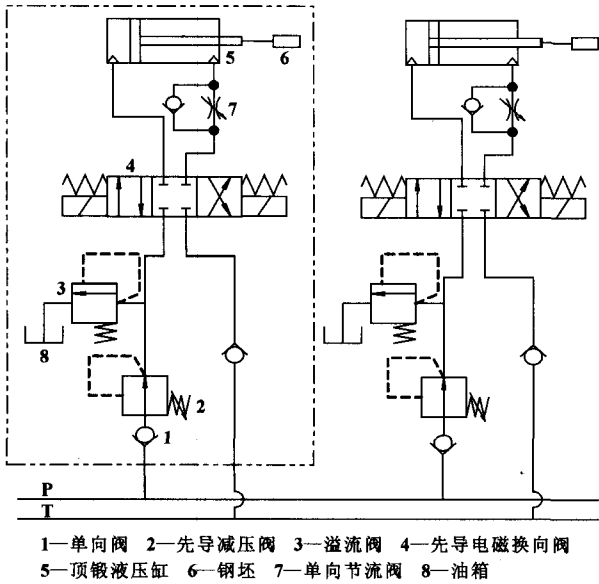


图1 闪光焊机顶锻液压系统组成结构图

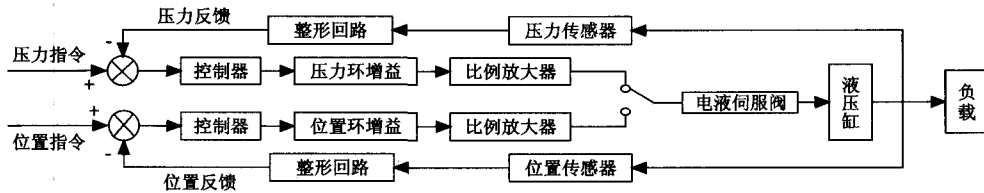


图2 闪光焊接控制原理图

闪光焊机的顶锻液压系统的负载是惯性负载，其驱动力控制框图如图3所示。

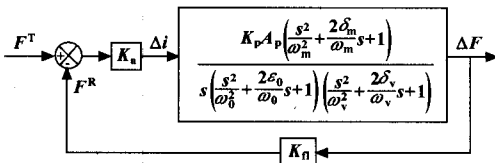


图3 驱动力控制系统框图

图中： K_a 为控制放大器增益； K_p 为电液控制阀的压力增益， $K_p = \frac{K_v}{K_{ce}}$ ； K_n 为力传感器的比例系数； ω_m 为机械谐振频率， $\omega_m = \sqrt{k_s/m}$ ； δ_m 为机械阻尼系数， $\delta_m = B_p/2\sqrt{mk_s}$ ； ω_0 为综合谐振频率， $\omega_0 = \sqrt{\omega_h^2 + \omega_m^2} = \omega_h \sqrt{1+K_h}$ ； ω_h 为液压谐振频率， $\omega_h = \sqrt{K_h/m} = \sqrt{4KA_p^2/V_1 m}$ ； ε_0 为综合阻尼系数， $\varepsilon_0 = \frac{K_{ce} \sqrt{Km/V_1}}{A_p \sqrt{(1+k_s/K_h)^3}} + \frac{B_p \sqrt{V_1/Km}}{4A_p \sqrt{1+k_s/K_h}}$ 。

3 基于二级模糊PID的闪光焊机的顶锻阶段的压力同步控制

大截面钢坯的闪光焊接属于连续闪光对焊，是实现无头连续轧制的关键技术之一。连续闪光对焊的焊

2 闪光焊机的顶锻液压系统数学模型

闪光焊接闪光阶段的实质是称作过梁的液态金属在焊件间隙中形成和快速爆破的交替过程。在闪光开始阶段，由于焊件端面温度较低，过梁从形成到爆破所需时间较长，因此必须在较低的送进速度下才能激发闪光，随着闪光的进行，端面温度逐渐升高，同样功率下过梁从形成到爆破的时间逐渐缩短，所以闪光阶段一般采用加速送进以保证爆破的连续^[4]。闪光焊接的闪光过程实质为加速度位置随动系统。在闪光焊接的顶锻阶段，活动夹具以较高的速度向前送进，迅速封闭熔化端面间隙，并以一定的压力使熔化端面互相挤压，使其产生足够的塑性变形。考虑闪光阶段和顶锻阶段对系统的不同要求，提出了压力-位置混合控制策略，以达到高质量的闪光焊接，其原理如图2所示。

接工艺主要包含两个阶段：闪光阶段和顶锻阶段。顶锻阶段要求活动夹具能够瞬间提供较大的顶锻力和顶锻速度。焊接截面为 130 mm × 130 mm 的方形钢坯时，顶锻时间一般小于 1 s，顶锻力要达到 500 kN 以上。钢坯闪光焊接顶锻阶段的顶锻力的大小直接影响焊接的效果。针对闪光焊机的顶锻液压系统，其模糊PID控制策略如图4所示，是一种综合“同等与主从方式”的二级模糊PID同步控制策略。在图4中，设置系统的第一个通道为基准通道，通道PID控制参数为 K_{P1} , K_{I1} , K_{D1} ；第二个通道为同步通道，通道PID控制器参数为 K_{P2} , K_{I2} , K_{D2} ； $r(t)$ 是系统理想压力输入， t 是时间变量， $y_i(t)$ 是系统第 i ($i=1,2$) 通道的压力输出， $u_i(t)$ 是系统第 i ($i=1,2$) 通道控制器的控制输出， $e_i(t) = r_i(t) - y_i(t)$ 是系统第 i ($i=1,2$) 通道的跟踪压力偏差， $e_{syn}(t) = y_1(t) - y_2(t)$ 是系统两条通道的同步压力的偏差。这样具有二级结构的模糊PID控制策略可以解释为：(1) 第二通道与第一通道“同等”地跟踪系统理想运动的输入；(2) 第二通道同时还以第一通道为基准，进行“主从”通道间同步误差的调整控制。也就是说基准通道的性能主要体现在整体系统的跟踪响应性能；同步通道的性能主要体现在两通道间同步误差的动态抑制性能^[5-6]。

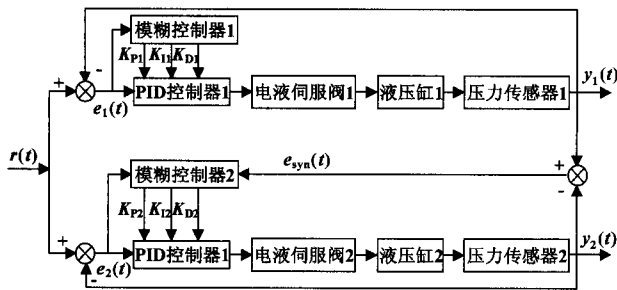


图 4 送进液压系统二级模糊 PID 控制原理框图

(1) 根据系统的跟踪性能和同步误差性能的要求选取相应的模糊变量, 并结合硬件的可实现性, 选取跟踪误差 $e_2(t)$ 和通道间的同步误差 $e_{syn}(t)$ 为模糊控制器的输入, 模糊控制器的输出控制量为各 PID 控制参数 K_p, K_D , 这里为了提高系统硬件运算速度和简化控制器设计略去了积分控制参数的设计。(2) 变量模糊化。(3) 确定隶属度函数和模糊决策规则, 这里采用的是三角形函数。(4) 模糊控制输出及其解模糊。

4 结果分析

图 5 绘出了常规 PID 控制实际运行曲线。图 5 (a) 绘制了各通道压力跟踪曲线, 图 5 (b) 绘制了两通道压力跟踪误差曲线和两通道间的同步偏差曲线。图 6 绘出了二级模糊 PID 控制实际运行曲线。图 6 (a) 绘制了各通道压力跟踪曲线, 图 6 (b) 绘制了两通道压力跟踪误差曲线和两通道间的同步偏差曲线。

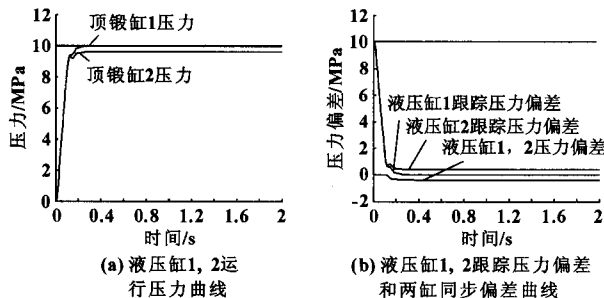


图 5 常规 PID 控制响应曲线

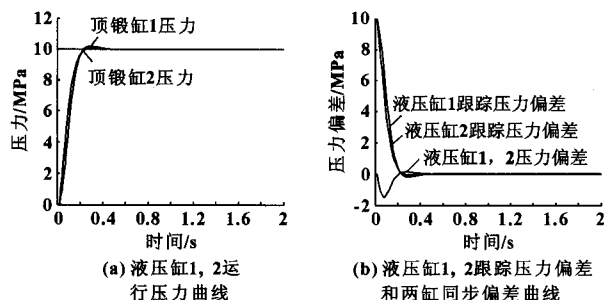


图 6 二级模糊 PID 控制响应曲线

通过图 5 (a) 和图 6 (a) 对比, 可以发现二级模糊 PID 控制有效地提高整个系统的跟踪响应能力, 两条通道的压力的跟踪误差由常规 PID 控制情况的将

近 0.5 MPa 到接近为零。从图 5 (b) 和图 6 (b) 对比中可以看出, 二级模糊 PID 控制在提高系统响应能力的同时还具有较高的静态同步精度, 常规 PID 控制情况的同步误差为 0.3 MPa, 模糊 PID 控制情况为 0.1 MPa 以内, 两者基本一致。因此闪光焊机送进电液伺服系统的仿真控制结果证实了二级模糊 PID 控制策略较常规 PID 控制策略具有更高的系统跟踪性能和同步控制品质。

参考文献:

- [1] 电阻焊专业委员会. 电阻焊理论与实践[M]. 北京:机械工业出版社, 1995.
- [2] 赵熹华. 焊接方法与机电一体化[M]. 北京:机械工业出版社, 2001.
- [3] 赵熹华. 压力焊[M]. 北京:机械工业出版社, 1999.
- [4] 卢宁, 付永领, 孙新学, 等. 钢坯闪光焊接液压系统研究[J]. 液压与气动, 2005(7): 3-7.
- [5] 管杨新, 胡大邦, 王奕豫. 电液位置同步伺服控制系统的模糊控制研究[J]. 机床与液压, 2002(2): 83-85.
- [6] 刘永利, 徐兵, 杨华勇. 液压电梯控制系统的两级控制器设计[J]. 浙江大学学报:工学版, 2004, 38(2): 222-225.

(上接第 35 页)

- [4] 那焱青, 牛洁, 那成烈. 叶片泵过渡曲线辨识问题研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(2): 51-54.
- [5] 李少年, 魏列江, 冀宏, 等. 改进定子曲线对高压子母叶片泵特性的影响[J]. 农业机械学报, 2012, 43(1): 219-223.
- [6] 叶志锋, 孙健国. 用最优控制理论设计双作用叶片泵定子曲线[J]. 航空动力学报, 1996, 11(4): 381-384.
- [7] 王天祥, 何利民, 任吉娟. 刚性转子式叶片泵最佳过渡曲线的研究[J]. 流体机械, 2006, 34(3): 24-27, 78.
- [8] 周泰文, 王晓星, 刘后书. 模糊数学基础简明教程[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1993.
- [9] SINHA S. Fuzzy Mathematical Programming Applied to Multi-level Programming Problems [J]. Computers & Operations Research, 2003, 30(9): 1259-1268.
- [10] CHENG S M. A New Method for Tool Steel Materials Selection under Fuzzy Environment [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1997, 92(3): 265-274.
- [11] LIU H T. Product Design and Selection Using Fuzzy QFD and Fuzzy MCDM Approaches [J]. Applied Mathematical Modelling, 2011, 35(1): 482-496.
- [12] 任彬, 张树有, 伊国栋. 基于模糊多属性决策的复杂产品配置方法[J]. 机械工程学报, 2010, 46(19): 108-116.
- [13] 陈晨, 毛宁, 陈庆新. 基于模糊粗糙集的改模知识分层归纳方法[J]. 机械工程学报, 2010, 46(14): 40-46.
- [14] 杨福增, 朱琳, 刘洪萍, 等. 拖拉机变速箱轴承的模糊选择[J]. 西北农业大学学报, 1999, 27(2): 105-108.
- [15] 高江红. 凸轮机构从动件运动规律的设计[J]. 机械设计, 2006, 23(2): 45-47.