

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2017.08.006

## 镀铬槽液温度自动控制系统研究

李 宁<sup>1</sup>, 卢子广<sup>2</sup>, 罗启平<sup>1</sup>

(1. 广西机电职业技术学院 电气工程系, 广西南宁 530007; 2. 广西大学 电气工程学院, 广西南宁 530004)

**摘要:** 为优化镀铬工艺, 改善电镀作业环境, 实现对镀液温度等过程参数的自动控制, 设计了镀铬槽液温度智能控制系统。硬件配置主、从站 PLC 监测和控制模块, 通过触摸屏人机交互和 PID 算法在线调节镀铬液温度, 利用 DeviceNet 总线监视现场设备和仪器仪表的运行状态。实际应用表明, 系统运行稳定, 人机交互方便, 容易实现镀铬过程温度等工艺参数的在线控制, 且温度控制精度高, 满足电镀生产要求。

**关键词:** 镀铬液温度; 智能控制; PLC; PID 算法; 人机交互

中图分类号: TP278 文献标识码: B

## Research for Chromium Electroplating Bath Temperature Automatic Control System

LI Ning<sup>1</sup>, LU Ziguang<sup>2</sup>, LUO Qiping<sup>1</sup>

(1. Electrical Engineering Department, Guangxi Technological College of Machinery and Electricity, Nanning 530007, China; 2. College of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

**Abstract:** In order to optimize chromium electroplating process, improve plating operation environment and achieve the automatic control of plating bath temperature and other parameters, chromium electroplating bath temperature intelligent control system was designed. Hardware was assembled with PLC master and slave monitoring and control module. Bath temperature equipments and instrumentation running status were monitored through DeviceNet bus, human machine interaction and PID algorithm online regulation. Practical application showed that the system could run stable and was easily for human machine interaction. The system had achieved chromium electroplating process temperature and other parameters online control with high temperature control accuracy and it could meet the plating production requirements.

**Keyword:** chromium plating bath temperature; intelligent control; PLC; PID algorithm; human machine interaction

### 引 言

温度是影响电镀质量和表面处理效率的重要

因素<sup>[1]</sup>。若镀液温度较低, 阴极的极化作用较强, 镀层结晶细致紧密, 表面质量较好, 但低温会降低镀槽预镀覆金属离子活性, 影响镀层沉积效率。反

收稿日期: 2017-03-21

修回日期: 2017-04-24

基金项目: 2016年广西高校科学技术研究项目(KY2016YB647); 广西高等学校优秀中青年骨干教师培养工程

之 温度较高时 , 则有助于减少镀层含氢量 , 镀液离子活性也增强 , 显著提高表面处理效率 , 但会减弱阴极的电化学极性 , 造成镀层结晶粗大 , 影响电镀质量。因此 施镀时有必要根据电镀工艺和镀层质量要求合理控制镀液温度。

目前 , 对于镀铬溶液温度的控制 , 多数企业采用人工调温方式<sup>[2]</sup>。考虑镀铬溶液温度控制的迟滞性和施镀时间要求 , 人工调温很难实现施镀过程中的恒温控制 , 不仅稳态误差较大 , 无法保证电镀效率和镀层质量 , 而且镀液具有一定的毒性 , 也会危害操作人员的身体健康。针对此问题 , 以 Al-Cu 系模具镀硬铬工艺为例 , 优化改进电镀工艺 , 通过 PID 控制器在线调节镀液温度 , 利用台达 PLC 和威纶通触摸屏设计除油、水洗和镀硬铬溶液温度控制系统。

### 1 工艺过程优化

表面磨损、受冲击载荷变形是引起冲模失效的主要形式 , 镀硬铬处理能有效改善模具表面质量 , 提高模具硬度和耐磨性 , 延长服役寿命。Al-Cu 系模具的镀硬铬工艺流程如下:

上挂具→电化学除油→水洗 1→酸洗浸蚀→水洗 2→活化→水洗 3→镀硬铬→水洗 4→干燥→下挂具。

模具装挂后 , 按配方和工艺要求恒温控制冲模表面镀硬铬过程。其中 , 电化学除油采用 50 ~ 80 g/L NaOH 溶液 , 控制  $\theta$  为 60℃ , 以增强溶液导电性和脂的皂化反应; 水洗 1 采用 55 ~ 60℃ 温水 , 以快速清洗表面油污和除油溶液; 镀硬铬溶液组成及操作条件 200 ~ 250 g/L 铬酐 2.00 ~ 2.50 g/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> , 控制  $\theta$  为 (45 ± 2)℃ , 既保证电镀效率 , 又减少镀层裂纹和内应力; 酸洗浸蚀、水洗 2 等工序控制在常温下进行。

由于电化学除油和水洗 1 槽位温度相近 , 而为减少能耗损失、方便管理和控制邻近槽位温度 , 电化学除油和水洗 1 槽合用水浴加热装置 , 如图 1。除油槽依靠加热套和水浴升温、风机和给水阀 Y1 降温 , 通过传感器检测反馈维持除油槽内溶液温

度。水洗 1 槽利用传感器、水浴温水阀 Y3 和给水阀 Y2 调节槽内温度。

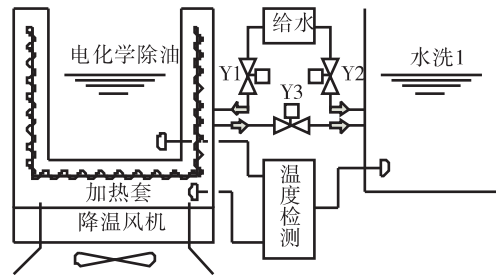


图 1 水浴加热装置示意图

## 2 电镀过程控制系统

### 2.1 PLC 硬件系统

PLC 硬件系统在线监测施镀时间、镀液电流、温度和液位等参数 , 并实现对工艺槽内溶液温度的恒温控制。硬件系统由 PLC、触摸屏、传感器和调温设备等组成 , 结构如图 2。

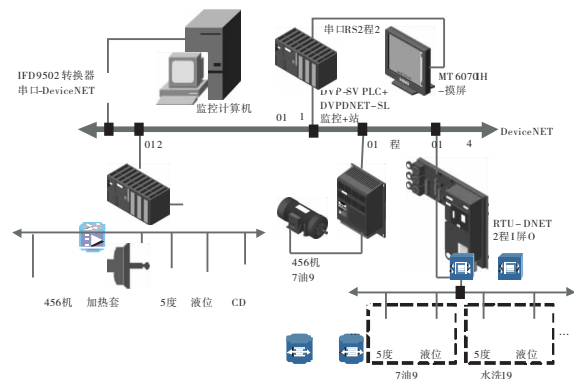


图 2 电镀过程控制系统硬件结构

硬件系统之间的数据交互和通信采用面向电镀现场设备和仪器仪表的 DeviceNet 总线 , 能有效减少繁琐的硬接线 , 具有成本低、兼容性强、接线故障自诊断和修正自恢复等特点 , 主、从站 PLC 和分布模拟量、数字量监测终端挂接在 DeviceNet 总线上 , 实现电镀过程的自动控制。

硬件系统配置如表 1。主站选择台达 DVP-SV 系列 PLC , 分别通过 RS232 串口连接触摸屏 MT6070IH、DVPDNET-SL 接口连接 DeviceNet 总线 , 负责设定和输入工艺参数、监测和显示电镀参数、输出系统故障、作出指令以控制加热套或降温风

机。镀铬液温度控制精度高,施镀时间短,稳态误差要求不超过5% ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) ,而除油和水洗1工艺槽位相邻、温差变化幅度小。考虑硬件成本和电镀效果,除油和水洗1等槽位配置 DeviceNet 接口和远程 I/O RTU-DNET,使调温设备和传感器能挂接到 DeviceNet 总线上,镀硬铬槽位配置台达 DVP-SA 系列 PLC 从站,监测施镀电流、温度和液位变化,并通过内置 PID 控制器在线调节镀铬液温度。

表1 硬件配置

系统结构	系统硬件	硬件功能	
主站	DVP28SV11R	电镀主站 PLC	
	MT6070IH	触摸屏	
	DVPNET-SL	主站 DeviceNet 通信模块	
	IFD9502	上位机连接 DeviceNet	
	IFD8500	主站 PLC 连接触摸屏	
	TAPCN01	DeviceNet 总线分接	
从站	DVP-12SA	镀硬铬从站 PLC	
	DVP08SP	数字量 I/O	液位 降温风机
	DVP06XA	模拟量 I/O	电流 加热套
	DVP04PT	温度测量	
	DVPDT01-S	从站 PLC 连接 DeviceNet	
远程 I/O	RTU-DNET	除油槽液位、温度等	
		水洗1槽液位、温度等	

### 2.2 人机界面设计

人机界面基于威纶通触摸屏 MT6070IH 开发,支持 USB 和串口调试,且适用于电镀现场潮湿、化学腐蚀等恶劣环境。操作界面人机交互方便,流程组态按实际工艺开发,允许工艺人员输入电镀过程中各槽位温度、时间等参数,如图3。

PLC 运行时能在线监视设备运行、液位等状态变化,实时反馈状态。当系统存在故障时,能及时输出显示报警信息和故障代码,为人员管理和维护工艺提供便利。

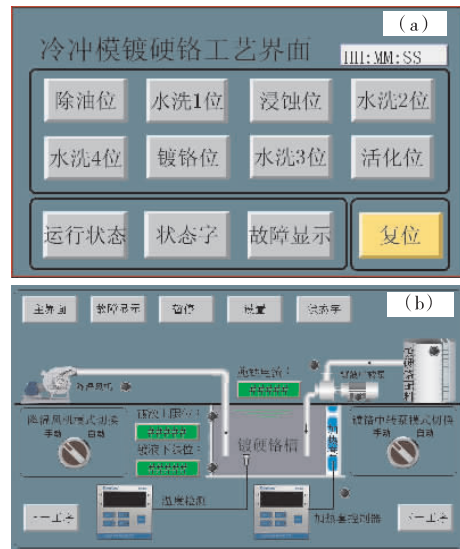


图3 人机控制界面

## 3 电镀液温度 PID 控制

### 3.1 PID 控制器

PID 是电镀过程中常用的工业控制算法<sup>[3]</sup>,通过反馈设定目标量 SV 和实测量 PV 的控制偏差 (SV-PV),由偏差 (SV-PV) 和 PID 控制器的比例系数  $K_P$ 、积分时间  $T_I$  和微分算子  $T_D$  调谐系统输出量 MV,以减少设定与实测偏差,具有结构简单、应用灵活及容易实现稳定控制等优点。电镀温度 PID 控制原理如图4。

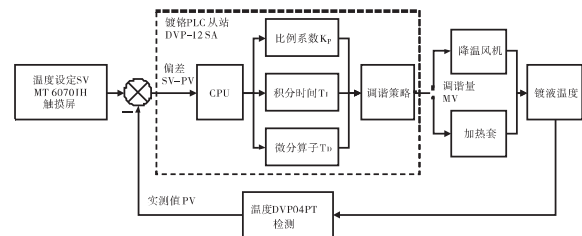


图4 电镀液 PID 控制原理

通过人机界面 MT6070IH 设定镀液温度 SV ( $45^{\circ}\text{C}$ ) ,温度模块 DVP04PT 在线检测、反馈镀液实际温度 PV 到 PLC,利用内置的 PID 控制器输出偏差 (SV-PV) 对应的调谐值 MV,控制加热套和降温风机的运行状态。其中,比例系数  $K_P$  加快温度调控速度,减小偏差 SV-PV,积分时间  $T_I$  消除系统静态误差,减少输出量 MV 漂移,微分算子  $T_D$  减少温

度振荡,使偏差维持在  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  以内<sup>[4-5]</sup>。

镀液温度控制精度高、调控时间短,通过偏差 SV-PV 反馈和 PID 调谐要求稳态误差不超过 5% ( $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。

在镀液温度 PID 控制程序中,从站 DVP-I2SA 继电器 M0、M1 分别对应系统运行、PID 调谐动作位,寄存器 D200 存储取样  $t$  为 50 ms。

通过触摸屏设定从站寄存器 D10 的温度目标量 SV,启动系统 ( $M0 = 1$ ),从站 PLC 自动整定 PID 参数存储在 D18 寄存器。

温度模块 DVP04PT 将实测镀液温度 PV 反馈到从站寄存器 D11,且  $M1 = 1$ ,PID 调谐,将 D18 寄存的整定值输出调谐值 MV(D0)。

### 3.2 电镀液恒温控制效果

为验证本系统恒温控制效果,设计除油、水洗 1 和镀硬铬槽位温度在线调控试验。

除油、水洗 1 合用水浴加热装置(如图 1),其温度通过主站 PLC、触摸屏和 DeviceNet 总线控制。除油溶液通过水浴加热,设定水浴  $\theta$  为  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,水洗 1 温度利用水浴装置内温水和给水阀 Y2 调节,设定水洗  $1\theta$  为  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

镀硬铬温度由从站 PLC 控制,设定目标 SV =  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、偏差  $|SV - PV| \leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  和取样  $t$  为 100 ms。由 DVP04PT 实测 8 min 内溶液温度,如图 5。

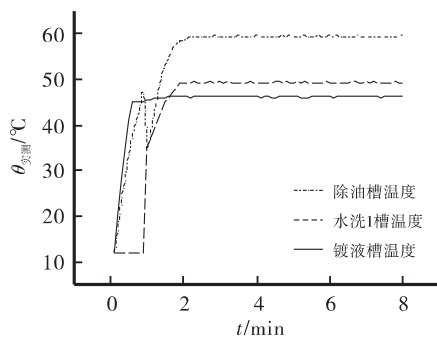


图 5 实测槽液温度

实测槽液温度表明:

1) 温度设定后,各槽位都需要一定的温升过程,除油采用水浴升温,其升温速度明显低于镀液槽温度变化,水洗 1 使用水浴温水升温,故除油槽温度在 1 min 时存在变异,但各槽位温控响应速度较

快,而为提高电镀效率,可根据冲模上挂时间,预先控制温升过程,减少等待时间。

2) 水洗 1 槽在除油槽加热 1 min 后升温,其目的在于合理利用水浴温升,避免水浴温度过高,减少加热损耗。

3) 各槽位稳态精度较高,除油温度基本能稳定控制  $\theta$  在  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,镀液温度变化  $\theta$  不超过  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,而水洗 1 相较设定偏差  $\theta$  约为  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,不满足工艺设定  $\theta$  为  $55 \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,仍需进一步改进优化阀 Y2 和 Y3 的开度或作用时间。

## 4 结论

根据 Al-Cu 系模具镀铬要求,设计电镀过程镀液温度智能控制系统。

系统包括主、从站控制器,主站 PLC 面向电镀生产线,通过触摸屏人机交互和 DeviceNet 总线在线监控温度等工艺参数,实时显示设备和仪器仪表的运行状态,并对故障报警。从站面向镀液槽位,通过 PID 算法实时调谐镀铬溶液温度。

系统运行平稳,操作界面友好,人机交互方便,能实现电镀过程温度参数的在线调控,满足电镀生产要求。该系统的应用改善了工作人员作业环境,且操作简单,容易实现对电镀生产过程的集中监控和管理。

## 参考文献

[1] 王中平,孙振平,金明.表面物理化学[M].上海:同济大学出版社,2015:101.  
 [2] 徐竟天,张甜甜,程瑞洲,等.基于 S7-300PLC 的电镀恒温控制系统设计[J].电镀与涂饰,2015,(12):690-695.  
 [3] 赵鹏,毕立恒.电镀电流参数的节能 PID 控制方法[J].电镀与精饰,2016,38(7):23-27.  
 [4] 陶永华.新型 PID 控制及其应用[M].北京:机械工业出版社,2002:2-6.  
 [5] 何杰,吴世德.PVT 仪器中的高精度温度 PID 控制[J].自动化技术与应用,2006,25(1):34-37.