

Design and Improvement for Electrical System for Plasma Nitriding

YU Qiongrong, ZHOU Ming

Physics and Electron Technology College of Hubei University, Wuhan, China

Abstract: The electrical system of equipment for plasma nitriding for Wuhan Shoufa Surface heat treatment research institute were presented. The electrical system have reserved intrinsic part function that of 15-150KW high-power pulse power source and boosting. And it has appended automatic Control System. It has an automatic closed-loop control of temperature control and vacuum degree control, can be PID regulator for temperature and vacuum degree; can be automatic circuit self-check and self-shield; can be continuous regulator for voltage currents and duty factor of pulse power source; can be storing and retrieving items or data for historical data; forms for reporting statistics of processing technique; fault self-diagnostics of equipment; and data transmission of long distance. Immensely to make better performance of ion nitriding technics and function of plasma nitriding equipment.

Keyword: ion nitriding; automatic control system; PLC, fault self-diagnostics

等离子体渗氮设备之电气系统的改进与设计

余琼蓉, 周 民

湖北大学物理学与电子技术学院, 武汉, 中国, 430062

摘 要: 本文介绍了为湖北省首发表面处理研究所改进与设计的等离子体渗氮设备之电气系统。该电气系统保留原来离子渗氮设备有所有的 15-150KVA 大功率的脉冲离子电源和辅助均匀加热功能, 新增离子渗氮工艺的全自动化控制。该自动控制系统能对温度、真空度均实施闭环的 PID 调节控制; 对大功率的脉冲电源电路具有自检测和自保护功能; 能连续调节脉冲离子电源的电压、电流、脉冲占空比等参数; 具有历史数据存贮, 生产工艺报表功能; 能实现基本的设备故障自诊断; 可进行远程数据传输, 全面提升了渗氮工艺的性能和设备功能。

关键词: 等离子体渗氮, PLC 可编程控制器, 自动控制, 故障自诊断

1 引言

低温等离子体化学热处理技术包括离子氮化、离子碳氮共渗、离子软氮化+后氧化复合处理和等离子体化学气相沉积等多种处理工艺, 广泛用于提高钢和铸铁等金属材料制造的机械零部件和工模具的表面硬度、耐磨性和耐蚀性, 提高其使用寿命。离子化学热处理具有处理速度快、质量好、节能、无污染等特点, 一些离子化学热处理技术已在工业生产中获得广泛应用, 取得了巨大的经济效益^[1]。

我们为湖北省武汉首发表面处理研究所改进的专用于低温等离子体渗氮技术的设备, 本文是在这些工作基础上完成的。

控制器采用西门子 S7-226 的 PLC 主机和其它相关的 7 个扩展模块^[2,3], 上位机是华硕平板工业电脑加触摸屏显示, 辅助组态王工控组态软件, 工控机与 PLC 主机之间的用 PPI 协议进行通信, 工控机通过网线进入

网络实现远程数据传输。

2 离子渗氮基本原理

2.1 低温等离子体渗氮工作原理简介

在稀薄气体的真空容器内的两个电极施加电源电压, 分别称为阳极与阴极, 所加电源电压的大小可以调节, 可以是直流电压源, 也可以是单极性脉冲。它在炉体中形成一个电场, 可以将炉中的稀薄气体一部分电离, 也产生正离子和电子, 这时炉体内有离子、电子、部分没有电离的气体分子和原子, 也就是得到了等离子体, 这些粒子快速地运动并相互发生碰撞。炉内的离子与电子在外加电场作用下的移动会平均往一个方向运动。其中正离子往阴极移动, 负电子往阳极移动, 形成电流^[1]。外加电压用电压表 V 测量, 形成的电流可以用电流表 A 测量。这时将炉内的阴极作为被处理的金属材料, 也叫到工件, 被电离的正离子就会对工作进行化

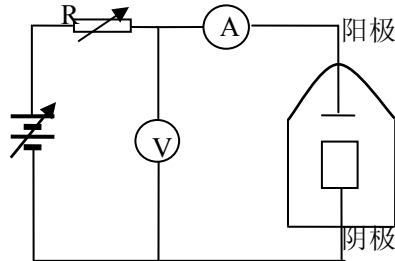


Figure 1. Principle of work for ion nitriding
图 1. 等离子渗氮工作原理图

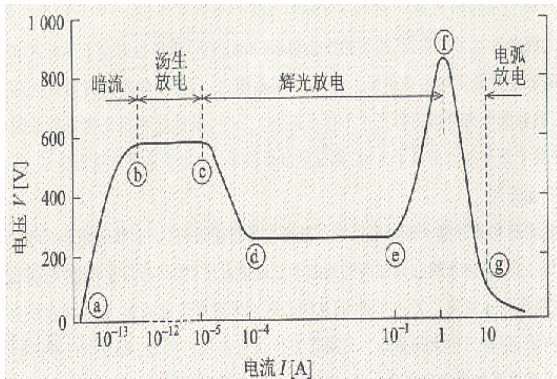


Figure 2. I—V characteristic and discharge mode in infrabar direct-current discharge
图 2. 低气压直流放电的 V—I 特性和放电模式

学物理作用，从而改变工件材料的表面性质。等离子体渗氮的工作原理如图 1 所示：

为了能更好的控制处理工艺，需对等离子体的伏安特性有详细的了解，图 2 给出了等离子体的 V—I 特征曲线和放电模式。如图 2 所示：

C 点就是放电着火状态，对应的电压即为着火电压（气体性质、电极材料及温度一定时，辉光点燃电压与气体压强和阴阳极距离的乘积有关，离子渗氮的点燃电压为 400-500V）。

e-f 是离子渗氮工作所在的异常辉光区，在此区辉光均匀覆盖工件表面，且可通过改变阴阳极间电压及阴极表面电流密度，实现工艺参数调节。若进一步增加电流，电压会下降到电离电压值附近而达到 g 点，从而引起电弧放电。电弧放电一般电压为数十伏，电流密度为数百安/平方厘米，是低电压大电流密度的放电，放电发生在阴极局部。

3 等离子渗氮设备的结构

离子渗氮成套设备由真空炉体、真空获得系统、脉冲离子电源、辅助加热电源、工艺参数温度、气压、电压、电流等测量的测量系统、供气系统、冷却系统、

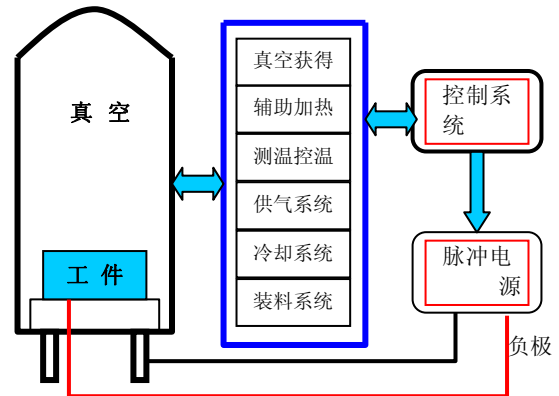


Figure 3. Constituents for ion nitriding equipment
图 3. 等离子体渗氮设备的组成框图

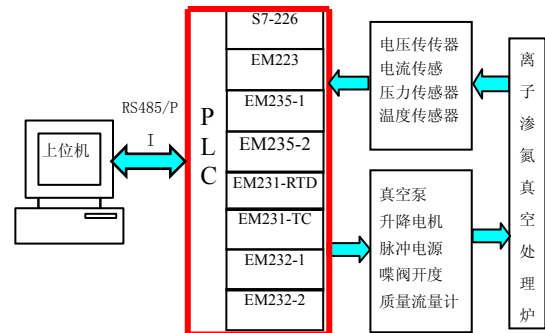


Figure 4. Structural framing of control system
图 4. 控制系统结构框图

装料系统、PLC 及计算机控制系统与通信网络接口等组成^[4]。如图 3 所示为等离子体渗氮设备的组成框图。

图中的炉体、真空系统、供气系统、冷却系统、装料系统在文中不作介绍。我们重点介绍电气系统中的控制与通信系统部分。

4 等离子体渗氮的电气系统

等离子渗氮的电气控制系统是渗氮工艺设备的核心部分，对渗氮工艺的好坏起着关键的作用。这里我们先介绍电气系统的组成，然后将我们重点改进的 PLC 控制系统与远程通信控制部分加以说明。

4.1 电气系统的组成

自动控制子系统是电气系统的主要部分。各部分的相互关系由图 3、图 4 表现出来。

等离子渗氮设备的电气系统由多部分组成，一是大功率的单极性脉冲电源（功率从 30KVA—150KVA 不等）部分，主要用于低真空炉体内的气体加入电场，进行电离，以获得等离子。上、中、下三路辅助加热电源部分，用于对炉内各点的温度场均衡；各开关量控制电路部分，主要是真空泵、电源、冷却及装料等等的开关传动控制电路部分；工艺参数的测量与显示部分，自动

控制子系统。

4.2 PLC 自动控制子系统

4.2.1 PLC控制子系统的硬件构成

通过对离子渗氮工艺要求分析,我们统计了系统所有的模拟量和开关量信号,主要有 22 个开关量输入点 (DI), 20 个开关量输出点 (DO), 13 个模拟量输入点 (AI), 9 个模拟量输出点 (AO) [5]。

由于可编程控制器 PLC 与其它微处理器相比,有可靠性高、控制功能强、编程方便易学、适用于恶劣的工业环境、与外部设备连接方便等优点,其主要是 PLC 能在恶劣的工业环境下保证平均无故障工作时间可达到几万小时以上,因此我们采用西门子 S7-200 系列 PLC,选择的主要模块有^[3]:

1) S7-226: 主体 PLC, 24 入/16 出, 16384 字节的程序存储器及 10240 字节的数据存储器, 10 路高速计数器, 8 路 PID 控制, 可外接 7 个扩展模块等, 满足系统设计要求。

2) EM223: 为 16 输入/16 输出的数字量 I/O 混合模块, 加上 S7-226 上的 I/O 点数, 共有 40 点数字量输入, 32 点数字量输出, 满足控制系统所需的开关量点数。

3) EM235: 是高速 12 位模拟量输入输出模块(A/D, D/A), 能在 149us 内将模拟量输入转换成相应的数字量, EM235 具有 4 路模拟量输入, 1 路模拟量输出。

4) EM231-RTD: 热电阻扩展模块, 此为模拟量输入模块, 由于离子氮化炉对水温的要求不高, 因此用 EM231-RTD 连接 Pt-100 热电阻来测水温的值。

5) EM231-TC: 热电偶扩展模块。EM231-TC 的测量范围为 -80mV~+80mV; 输入温度的分辨率为 0.1℃; 换的数值为 15 位加符号位。通道中的数据格式为 16bit 的二进制补码(例如测量的温度为 100.2℃则报告数据为 1002。本模块使用 J 热电偶, 测量范围为 -150℃~1200℃, 要用于主温度和 3 个辅热温度的测量。

6) EM223: 4 路模拟量输出模块, 在本系统中此模块用于电压、占空比、辅热温度的控制、蝶阀控制等。

4.2.2 PLC控制子系统的工艺参数

离子渗氮表面处理工艺是一个多参数的控制过程, 见表 1。

等离子体表面处理自动控制系统就是对这些控制参量进行管理和控制, 使反应炉内温度 T 及气体压力 P 按预先给定工艺曲线运行。为了达到此目的, 必须考虑影响温度和气压参数的因素^[6]。

离子渗氮表面处理工艺是通过改变预处理溅射时

表 1. 离子渗氮的工艺参数

工艺参数	渗氮温度 T	渗氮时间 t	电源电压 U	气体压强 P	气体流量 Q	放电电流 I	占空比 D
相互关系	工件温度 T 是 U、I 和 P 的一多元函数, 即 $T=f(U, I, P)$ 。通过改变 U 或 I 或 P 的大小, 就可以改变工件的温度; 渗氮时间 t 则是影响表面渗氮层的厚度; 在电压 U 固定的情况下, 通过改变脉冲电源的占空比 D, 就改变了放电电流 I 的大小; 蝶阀开度一定的情况下, 增加气体的流量 Q, 气体压强 P 将增大, 反之亦然, 当然, 在 U 和 D 一定的条件下, Q 的改变也会影响放电电流 I 的大小。						

间、渗氮温度和保温时间, 改变气体成分和总的气体压强, 改变工作电压和电流密度等参数来得到不同的表面渗层以及化合物区和扩散区的相对厚度。P、V, 决定电流密度。若用增加电流密度来增加离子势会使输入功率增加, 工件表面温度上升, 结果造成芯材回火, 因而分别控制离子势和热能是重要的。采用斩波器(脉冲电源)通过调节占空比 D, 可以将以上几个工艺参数的作用分离开, 一方面控制脉冲电流的幅度(调 V 或 P), 另一方面控制离子渗氮的功率。使得改变气体成分及总压强时能保持工件表面温度, 因此可得到适合特殊应用要求的化合物层和扩散区的最佳组合。

本系统可在很宽的分压范围内, 精确控制各种工作气体和单独控制总的气体压强。工艺参数的组合具有很大的灵活, P、T 基本解耦, 可分两个单环在一定的规律下协同控制, 各环都采用经典的 PID 调节算法^[7]。

PID 算法, 当被控对象的结构和参数不能完全掌握, 或得不到精确的数学模型时, 控制理论的其它技术难以采用时, 系统控制器的结构和参数必须领先经验和现场调试来确定, 这时应用 PID 控制技术最为方便即利用比例、积分、微分计算出控制量进行控制。PID 控制为 3 环节叠加, 见公式 (4.1) 为:

$$m(t) = K_p e(t) + K_p \tau \frac{de(t)}{dt} + \frac{K_i}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (1)$$

其中 K_p 为比例系数, K_d 为微分系数, τ 为微分时间常数, K_i 为积分系数。对于离散系统的 PID, 见公式 2

$$P(k) = K_p \left\{ E(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k E(j) + \frac{T_d}{T} [E(k) - E(k-1)] \right\} \quad (2)$$

4.2.3 PLC控制子系统的系统软件

软件编程是采用西门子公司为 S7-200 系列 PLC 开发的 STEP 7-Micro/WIN32 作为编程软件。根据控制系统的控制要求和硬件部分的设计情况及 PLC 控制系统 I/O 的分配, 进行软件设计的编程。一个完整的渗氮过

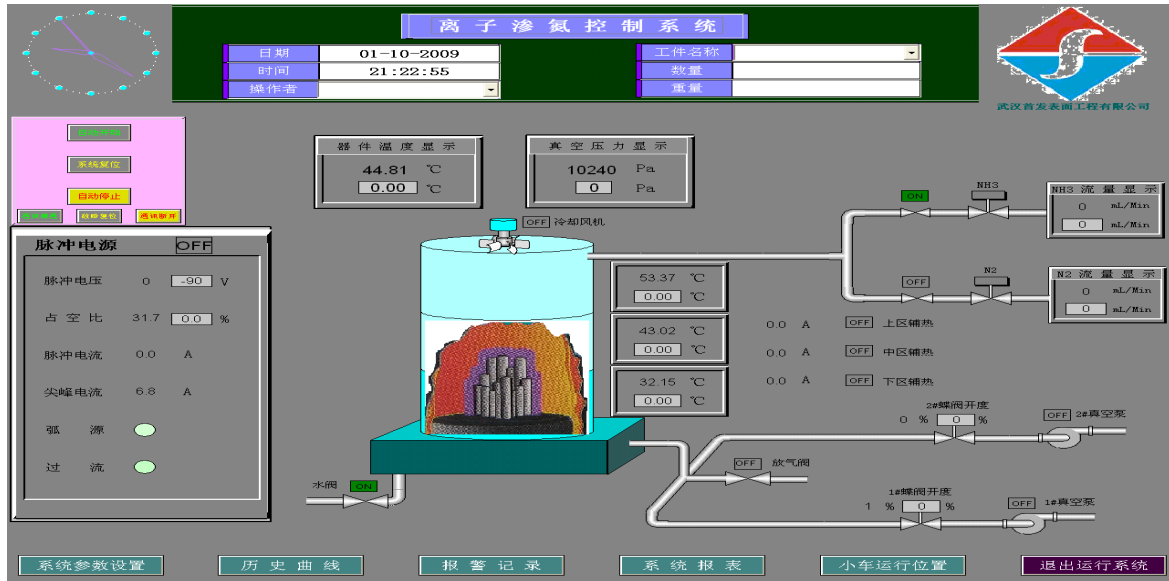


图 5. 一个主要的人机交互界面
Figure 5. One of human machine interface(HMI)

程的自动控制程序，是由三部分组成，一是上位机的参数设定与显示部分，二是主机与 PLC 的数据通信部分，三是 PLC 的程序控制部分。

4.3 人机界面及历史数据管理

人机界面是由上位机实现的，上位机系统采用华硕的工业平板电脑，配触摸屏，其工作稳定，抗干扰能力强，寿命长，利用工控组态软件组态王 6.52，通过 RS485/PPI 总线协议与下位机 PLC 通信，及时反映测控对象的当前工作状态以及现场工况变化情况下的控制稳定度，并绘制实时曲线和历史曲线，显示工艺过程的动态变化，并报表输出各种参数数据。当设备或工艺出现故障时，给出故障提示。或者将故障现象选择进行远程传输，由网络诊断系统进行故障的智能诊断。图 5 是一个主要的人机交互界面。

4.4 数据通信及远程控制

控制系统中有两组通信，一是西门子的 PLC 的主机与上位机的人机界面的通信，二是渗氮设备通过主机与远程管理计算机的通信。

PPI 是一种点到点(Point-to-Point)的主从式协议，此协议是基于字符的异步通信协议，带有起始位、8 位数据、偶校验和 1 个停止位。PPI 协议定义了主站和从站，主站设备发送要求到从站设备响应。从站不发送要求，只是等待主站的要求和对要求做出响应。PPI 协议支持上位机与西门子 S7-200 系列 PLC 之间的通讯。上位机和 PLC 通信方式上，都配置 PPI 通信方式，使用 COM1 端口进行设备连接。此种协议波特率为 9600bit/s，有 8 位数据位和 1 位停止位，并有偶校验位。

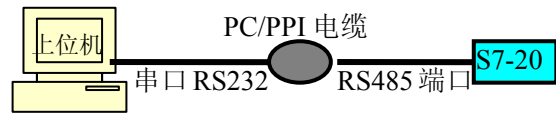


Figure 6. Communication for PC & PLC with PPI protocols
图 6. 采用 PPI 协议的上位机与 S7-200 进行通信

本协议采用串行通讯，使用计算机中的串口和 PLC 的编程口 (PORT 口)^[8]，如图 6 所示。

5 结论

本设计是在原武汉首发表面处理研究所的脉冲电源的等离子渗氮设备的基础上的改进，主要改进部分实现了全自动控制，并可保留历史数据和远程数据传输与诊断，保证设备正常工作。若故障有可能危害到设备安全或破坏整个工艺时，设备将自动关闭并报警。因运行时间不长，对设备的工艺参数的调整还有待进一步进行。

References (参考文献)

- [1] Zhouxiaozhang, CengDaKai, Plasma - heat treatment technique, BeJin .China Machine press 1990.7.
周孝重, 陈大凯. 等离子体热处理技术北京: 机械工业出版社, 1990.7.
- [2] Xiaobaoxing Experience and skill of to use S7-200 Siemens PLC. BeJin .China Machine press. 2008.9.
肖宝兴. 西门子 S7-200 PLC 的使用经验与技巧[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.9.
- [3] Siemens Studio, system handbook of S7-200 programmable controller[M], 2008.9.
西门子工作室. S7-200 可编程控制器系统手册[M].2007.9
- [4] Xuhuengeng, Plasma technique and application[M], Chemical Industry Press, 2006.
许根慧等. 等离子体技术与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [5] WangRunJin, Gaoliangfeng, Yuzhaixia, Design of automatic control system for ion nitriding furnace[J], Mechanical

- &electrical engineering magazine, 2009.19-3.
王瑞金, 高良凤, 喻彩丽. 离子渗氮炉的自动控制系统的设
计[J]. 机电工程, 2009年第19卷第三期.
- [6] Yuqiongrong. The Measurement of Process Parameters in Heat
Treatment for Surface of Plasma[J]. Process Automation Instru-
mentation 2002.06.
余琼蓉. 等离子体表面热处理过程参数的测量[J]. 自动化仪
表, 2001年6月第22卷第6期.
- [7] F.Karimi, S.Irrinki, T.Crosby, N.Park,F.Lombardi Parallel test-
ing of multi-port static random access memories Microelectr-
onics Journal 34 (2003).
- [8] J. Zhao, S. Irrinki, M. Puri, F. Lombardi, Detection of inter-port
faults in multi-port static random access memories, IEEE VLSI
Test Symposium, Montreal (2000) 297-302.