

第七届全国焊接学术会议 论文集

PROCEEDINGS OF THE 7TH CHINESE NATIONAL
CONFERENCE ON WELDING

第 6 册

1993年6月3日—6日 中国青岛



中国机械工程学会焊接学会

第七届全国焊接学术会议

论文集

PROCEEDINGS OF THE 7TH CHINESE NATIONAL
CONFERENCE ON WELDING

第 6 册

1993年6月3日—6日 中国青岛

江苏工业学院图书馆
藏书章



中国机械工程学会焊接学会

中国机械工程学会焊接学会各专业委员会评审出的第七届全国焊接学术会议A类论文452篇, B类论文292篇。《第七届全国焊接学术会议论文集》收入专题报告5篇、A类论文429篇(不符合制版要求及放弃刊登的论文23篇)和全部B类论文题录, 共分七册出版。除大会专题报告安排在第1册外, 其它各册所包括的专业委员会如下:

第1册: Ia、Ib、Ic、XIX

第2册: II、XI、

第3册: IIIa、IIIb、IIIc、XVI、XVIII、XX

第4册: IXa、IXb

第5册: X、XV

第6册: XIIa、XIIb、XVII

第7册: IVa、IVb、IVc、IVd、V、VIII、XIII、XIV



目 录

Ⅺa

碳钢MIG(MAG)焊熔滴过渡的弧光传感及实时控制	张 龙等	6—1
曲线焊缝的低成本自动跟踪技术	齐志扬等	6—6
单电源TIG—MIG串联电弧单面焊双面成形的研究	吴志强等	6—11
红外扫描式双向焊缝跟踪系统及其工业应用	陈武柱等	6—16
场效应管开关型MIG/MAG焊接电源及电弧控制系统	区智明等	6—21
弧焊超声波自动跟踪系统的研究	侯文考等	6—26
电弧传感器跟踪系统的微机控制	刘文焕等	6—31
铝合金TIG焊用变极性电源的研制	耿 正等	6—36
微程序控制多特性场效应管逆变式焊接电源的研究	魏 伦等	6—36
脉冲MAG焊条用脉冲旋转喷射过渡的开发	朱余荣等	6—41
TIG焊熔透的动态矩阵控制法	齐志扬等	6—46
焊接电弧最优控制系统及其应用	都 东等	6—51
弯管内壁堆焊四自由度运动微机控制系统的研究	魏 伦等	6—56
焊接过程的模糊控制	陈 强等	6—61
电脑控制多功能脉冲TIG焊机	李鹤岐等	6—66
MAG焊接过程熔透信号提取的研究	李先耀等	6—70
基于图像识别的焊缝自动跟踪系统	梁德群等	6—75
PID参数对微机控制SCR弧焊电源动特性的影响	孙忠诚等	6—80
数控晶闸管弧焊电源静动特性的数字仿真方法研究	孙忠诚等	6—85
焊接逆变器偏磁问题及其防止措施的研究	柳 刚等	6—90
交变横向磁场在TIG高速焊中的作用	王雅生等	6—95
微机控制的CO ₂ 焊二维焊缝自动跟踪系统	杨金孝等	6—100
8098单片机在双逆变弧焊电源控制中的应用	张 义等	6—105
SCR-MOSFET双逆变交流方波弧焊电源的研究	张 义等	6—110
电脑型动态焊接参数测量仪的研制	侯天奎等	6—115
场效应管逆变式方波交流MIG焊接电源的研制	焦向东等	6—119
GTAW接触引弧过程的数学分析	胡仁华等	6—124
热丝填充埋弧焊设备与工艺的研究	冯 标等	6—129
钉头管的自动化电容储能螺栓焊技术	刘 楠等	6—134
焊切位置偏差无盲区自动检测控制系统的研究与应用	刘泽生等	6—139
IGBT逆变式弧焊电源及其控制的研究	毛三可等	6—144

可编程控制器在冰箱压缩机环缝自动焊中的应用	杨思乾等	6—148
单丝窄间隙埋弧盖面焊道记忆跟踪系统研究	吴毅雄等	6—153
宇航大型容器封头焊接自动化系统	崔可浚等	6—158

XIb

防腐牺牲阳极的水下焊接	宋宝天等	6—163
水下湿法焊接气孔的研究	刘世明等	6—168
水下局部干法药皮焊条焊接的研究	王国荣等	6—173

XVII

水下等离子弧特性的研究	李俊岳等	6—178
电弧物理在发展、推广CO ₂ 焊中的应用	殷树育等	6—183
辉光放电钎焊的机理与装置	赵彭生等	6—183
TIG电弧全息干涉图象处理和计算	王卫林等	6—188
摩擦焊接物理研究现状	段立宇等	6—193
脉冲MIG(MAG)焊熔滴过渡的弧光辐射效应	张 龙等	6—198
TIG焊熔池谐振现象与分析	耿 正	6—203
焊接电弧的等离子流力	贾昌申等	6—208
推拉脉动送丝CO ₂ 焊射滴过渡的研究	孙子健等	6—213
焊接电弧等离子体的平衡性质	宋永伦等	6—218
红外热成像技术在摩擦焊接温度场实时检测中的应用	段立宇等	6—223
脉冲MIG焊熔滴过渡的控制	刘会杰等	6—228
铝合金TIG焊时利用电弧传感器进行熔透控制的研究	耿 正等	6—233
水下湿法焊接电弧温度与成分的光谱诊断	王国荣等	6—238
脉冲旋转喷射过渡的形成与液锥旋转运动的动态分析	王震澄等	6—243
不锈钢加压钎焊工艺研究	王忠平等	6—248
二种CO ₂ 焊接电源的电弧、熔池等的高速摄影对比分析	侯天奎等	6—253
导电摩擦焊热源行为及其对工艺过程影响的研究	王士元等	6—258
碱性焊条熔滴过渡及焊机动特性的影响	薛继仁等	6—263
焊条药皮组成物对熔滴表面张力的影响	孟庆森等	6—268
脉冲MIG焊熔滴过渡过程动态图象法研究	郭利国等	6—273
焊件剩磁对窄间隙MAG打底焊电弧稳定性影响的研究	钱聚璞等	6—278
铁基合金的液相扩散焊接	杨海珍等	6—283
激光-电弧焊新工艺研究	胡绳荪等	6—288
机器人电弧焊图象视觉跟踪系统	吴仁育等	6—293
带极电渣堆焊熔滴过渡形式及其对熔深的影响	李春旭等	6—298

改善细丝CO ₂ 焊引弧性能方法研究.....	王雅生等	6—293
摩擦焊控制的新方法——变参数复合控制	刘金合等	6—298
CO ₂ 焊接短路过渡过程的动态分析		
——短路液桥的动态变化与力学测算	程功善等	6—302
高炉钟斗破化钨密合带氩保护熔铸钎焊新工艺研究	孙学章等	6—306
图象法焊接缝隙检测的研究	贾昌申等	6—311
应用焊道长度校核和控制碱性焊条焊接线路		
能量的新方法	杨世杰	6—315
活化剂对CO ₂ 气保焊物理过程影响的研究.....	赵士谦	6—320
点焊动态参数计算机测试系统	曹彪等	6—325
等离子弧焊接工艺参数对焊缝成形的控制	胡世武等	6—330

B类论文题录:

H-XIIa-032-93(B)	大电流晶体管弧焊电源的均流技术	陆皓等	上海交通大学焊接教研室
H-XIIa-033-93(B)	微电流TIG焊研究	朱连生等	上海交通大学焊接教研室
H-XIIa-034-93(B)	英国BCKE公司全自动环缝氩弧焊机	杨思乾等	西北工业大学焊接教研室
H-XIIa-035-93(B)	微型计算机控制PC-MIG焊接接口技术	马彩霞等	西北工业大学焊接教研室
H-XIIa-037-93(B)	高速埋弧焊烧结焊剂的研制	李春旭等	甘肃工业大学焊接教研室
H-XIIa-038-93(B)	ACTG焊机引弧稳弧电路的探讨	李爱国等	沈阳工业大学焊接教研室
H-XIIa-039-93(B)	晶闸管脉冲TIG焊机的研制	杭争翔	沈阳工业大学焊接教研室
H-XIIa-040-93(B)	TIG焊电弧引燃方式的探讨及新型引弧器的介绍	邵成吉	沈阳工业大学焊接教研室
H-XIIa-041-93(B)	达林顿晶体管在逆变弧焊电源中的应用研究	白志范等	吉林工业大学焊接教研室
H-XIIa-042-93(B)	手弧焊机无触点空载节电器	侯启孝等	北京铁道部科学研究院
H-XIIa-043-93(B)	电枢氩弧焊	孙启政	贵阳电机厂
H-XIIa-044-93(B)	单片微机控制高频TIG焊弧长调节器的研制	魏伦等	哈尔滨焊接研究所

- H-XIa-045-93(B) WYX-1型焊接电源网压波动控制器的研制 金世珍等 哈尔滨焊接研究所
- H-XIa-046-93(B) 脉冲气体保护焊的试验和分析 赵增德 上海船舶工艺研究所
- H-XIa-047-93(B) CO₂气体保护焊在机车修理中的应用 邱连庆 柳州机车车辆工厂
- H-XIa-048-93(B) CO₂气体保护焊应用的新行为——自动CO₂气体保护焊在换热器创优中的攻关试验与实践总结 王常志等 大庆石油化工总厂
- H-XIb-004-93(B) 60米水深湿焊接气孔的研究 刘世明等 华南理工大学焊接教研室
- H-XIb-005-93(B) 载人湿舱与外海现场水下焊接试验研究 王 林等 哈尔滨焊接研究所
- H-XVII-036-93(B) 协同式脉冲MIG焊参数预置的微机控制 刘会杰等 哈尔滨工业大学焊接教研室
- H-XVII-037-93(B) 气体保护焊中气体流态对焊接分区保护效果的影响 王 林等 哈尔滨焊接研究所
- H-XVII-038-93(B) 旋转横向磁场作用下TIG电弧特性研究 王肇生等 西安交通大学焊接教研室
- H-XVII-039-93(B) 细丝CO₂自动焊时电弧摆动参数对焊缝的影响和控制规律 朱余荣等 西北工业大学焊接教研室
- H-XVII-040-93(B) 双8051 CPU分时主—从机技术在窄间隙埋弧焊过程控制中应用 董德祥等 哈尔滨焊接研究所
- H-XVII-041-93(B) 采用铠装热电偶对摩擦焊工件温度的动态测量 刘金合等 西北工业大学焊接教研室
- H-XVII-042-93(B) 碳弧气刨电弧的稳定性及其对制削质量的影响 李爱国等 沈阳工业大学焊接教研室
- H-XVII-043-93(B) 微型电机转子整流子焊接工艺特性及自动焊专机的研究 梁志峰等 广州广东省机械研究所
- H-XVII-044-93(B) 45钢棍芯ZCr13埋弧自动堆焊辊道堆焊层性能分析 杨世杰等 太原工业大学焊接教研室
- H-XVII-045-93(B) 新型火焰热源特性及其多用机的研究 张甲英等 北京装甲兵工程学院
- H-XVII-046-93(B) 点固及封底焊不预热工艺在贮氧球罐上的应用 杨世杰等 太原工业大学焊接教研室
- H-XVII-047-93(B) 喷焊层多冲裂纹萌生扩展的研究 肖宏滨等 洛阳工学院焊接室

碳钢 MIG(MAG)焊熔滴过渡的弧光传感及实时控制

军械工程学院
哈尔滨工业大学

张 龙
王其隆 张九海

摘 要

本文利用一套自行研制的 MIG(MAG)焊弧光传感实验系统研究了弧光传感方法用于熔滴过渡在线传感的可能性。研究表明,弧光传感方法能够可靠地用于碳钢 MIG(MAG)焊熔滴过渡的在线传感并且具有灵敏度高,抗干扰能力强,对焊接电源输出无特殊要求的特点。本文进一步利用弧光传感方法对碳脉冲 MAG 焊熔滴过渡的实时控制进行了研究。高速摄影和工艺实验的结果证实了这种利用直接来自熔滴过渡的信息对熔滴过渡进行实时控制的方法能够准确地、真正地保证一个脉冲就过渡一个熔滴并且在工艺上具有焊接过程非常稳定,无飞溅,焊缝成形美观,弧长对于干伸长的变化有强“自适应”能力的特点。文中给出了实验系统的结构框图以及熔滴过渡弧光传感和实时控制的实验结果。

关键词: MIG(MAG)焊; 熔滴过渡; 传感; 弧光辐射; 实时控制

一、引言

MIG(MAG)焊以其特有的工艺性能和现场使用的灵活性得以越来越广泛的应用。作为一种熔化极气体保护焊,它的熔滴过渡行为是影响其焊接质量的重要因素之一。在实际焊接中,由于各种干扰因素的存在,熔滴过渡往往偏离所希望的理想形式,从而影响到焊接质量。正因为如此,近些年国外焊接工作者明确提出要对熔滴过渡进行反馈控制,并正在积极地从事这方面的研究工作⁽¹⁻³⁾。对于熔滴过渡的反馈控制,实现熔滴过渡的在线传感是解决问题的前提和关键所在。由于 MIG(MAG)焊过程以及熔滴过渡行为本身的复杂性,企图对每秒几十次到几百次的熔滴过渡进行可靠的在线传感,无论在原理上还是技术上都具有一定的难度。国外目前对这一课题的研究,其注意力都集中在熔滴过渡的电信号传感方式上⁽¹⁻⁴⁾。由于信号源自身的品质问题(灵敏度低、抗干扰能力差),熔滴过渡的电信号传感大多要求焊接电源的输出极其平稳,由此使这种传感方式的工程实际应用前景受到了相当程度的局限。因此,另辟新径,研究新的熔滴过渡传感方法,并进而实现熔滴过渡的反馈控制,对于提高 MIG(MAG)焊质量具有重要的学术及工程实际意义。

二、熔滴过渡的弧光传感

(一)、实验系统

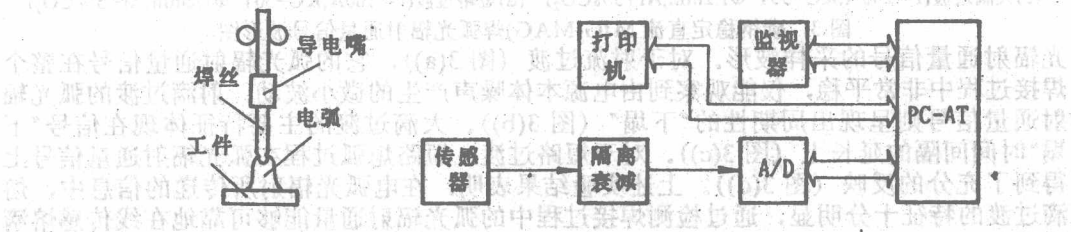


图1 传感系统框图

本文研究工作所采用的焊接电源的一个重要特征是电源的输出未加任何特殊的稳定措施,以求研究结果的工程实用性。弧光传感实验系统的构成如图1所示。传感器将所接收到的弧光积分辐射通量(简称弧光辐射通量)转换成电压信号(以下称弧光辐射通量信号),其输出经隔离衰减, A/D 转换(12位、最大采样频率 30KHz), 由计算机

进行数据采集和处理。信号的波形可通过监视器进行直接观测或打印输出。需要说明的是该传感系统所获得的信号,实际上反映的是视场内弧光辐射通量和背景光辐射通量的权重平均辐射通量。由于在有限的距离内弧光辐射远比背景光强烈,故传感器的输出主要是来自弧光辐射通量的贡献,因而称它为弧光辐射通量信号。

(二)、实验结果

在 MIG(MAG)焊中,熔滴过渡作为一种与电弧行为密切相关的物理过程,它的发生不仅会对电弧的电性特征产生影响

(由此出现了熔滴过渡的电信号传感),

同时还会对电弧的辐射过程产生较为强

烈的扰动^[5]。图 2 是对碳钢脉冲

MAG 焊熔滴过渡进行弧光传感的实验

结果。图中弧光辐射通量信号在脉冲峰

值期间出现的“下塌”(D-P-Q)是熔滴

过渡对弧光辐射过程的扰动所致。D

是本脉冲周期第一个熔滴脱离焊丝的时

刻, T_d 是从脉冲峰值电流开始至第一

个熔滴形成并发生过渡所需要的时间。

图 3 是碳钢稳定直流 MIG(MAG)焊弧

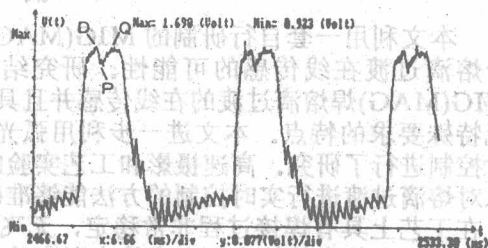
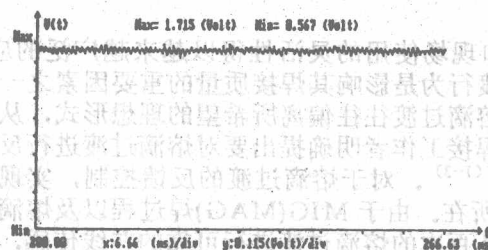


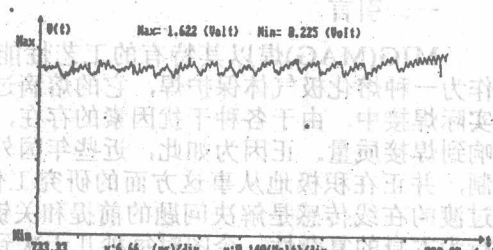
图 2 碳钢脉冲 MAG 焊弧光辐射通量信号波形图

$I_p = 400A$, $T_p = 6ms$, $T_b = 19ms$, $l = 18mm$,

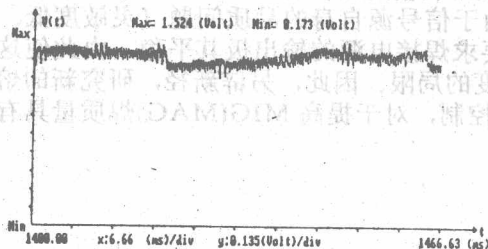
KC-50T $\Phi 1.2mm$, Ar+5%CO₂



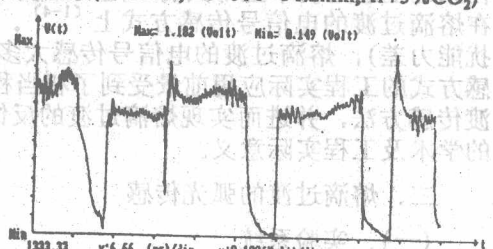
(a)射流过渡($I = 240A$, KC-50T $\Phi 1.2mm$, 纯 Ar)



(b)射滴过渡($I = 220A$, KC-50T $\Phi 1.2mm$, Ar+5%CO₂)



(c)大滴过渡($I = 200A$, KC-50T $\Phi 1.2mm$, Ar+5%CO₂)



(d)短路过渡($I = 160A$, KC-50T $\Phi 1.2mm$, Ar+5%CO₂)

图 3 碳钢稳定直流 MIG(MAG)焊弧光辐射通量信号波形图

光辐射通量信号的采样波形。对于射流过渡(图 3(a)),它的弧光辐射通量信号在整个焊接过程中非常平稳,仅能观察到由电源本体噪声产生的微小波动。射滴过渡的弧光辐射通量信号则呈现出周期性的“下塌”(图 3(b))。大滴过渡的主要特征体现在信号“下塌”时间间隔的延长上(图 3(c))。对于短路过渡,短路熄弧过程在弧光辐射通量信号上得到了充分的反映(图 3(d))。上述实验结果表明,在电弧光辐射所传递的信息中,熔滴过渡的特征十分明显,通过检测焊接过程中的弧光辐射通量能够可靠地在线传感熔滴过渡。

三、碳钢脉冲 MAG 焊弧光传感熔滴过渡的实时控制

一个脉冲过渡一个熔滴是脉冲 MIG(MAG)焊最理想的熔滴过渡形式。由于实际焊接过程中诸多干扰因素的存在,靠目前采用的预置脉冲参数的开环控制方法难以保

证这种理想熔滴过渡形式的稳定存在。解决问题的有效途径是对熔滴过渡进行实时控制。

(一)、熔滴过渡实时控制实验系统

实验系统主要包括焊接主回路和控制系统两大部分，其结构如图 4 所示。各主要环节的功能简要介绍如下：

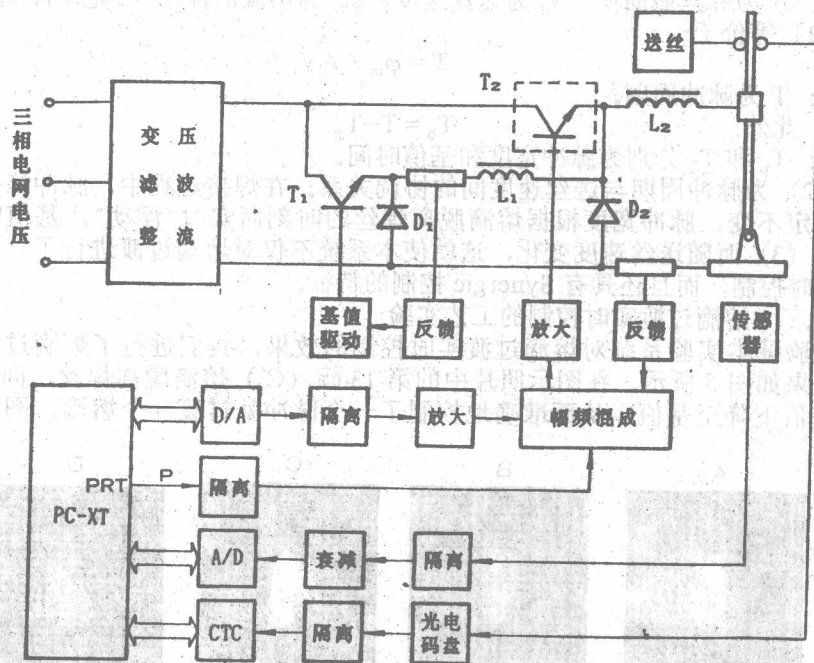


图 4 熔滴过渡实时控制实验系统框图

焊接主回路基值电流的输出由一只大功率晶体管 T_1 承担，峰值电流的输出由 5 只并联的大功率晶体管组 T_2 及基值回路的晶体管 T_1 共同承担，大功率晶体管均工作在开关状态，在其关断期间由电抗器 L_1 、 L_2 和二极管 D_1 、 D_2 续流。光电码盘与送丝机的送丝轮同轴旋转，通过 CTC 对其输出脉冲进行定时计数而获取送丝速度信息。弧光传感器、隔离、衰减、A/D 转换诸单元用于传感熔滴过渡。PC-XT 微型计算机的并行口 (PRT) 输出控制脉冲 (P)，经隔离进入幅频混成单元以对脉冲宽度进行实时控制。D/A 转换单元的输出经隔离、放大至幅频混成单元作为脉冲峰值电流恒流控制的参考电压。

(二)、控制原理

1、熔滴过渡实时控制原理

由前面给出的熔滴过渡弧光传感结果可以看出，熔滴过渡引起的弧光辐射通量信号“下塌”具有明显的幅值特征，因而可以用信号的下降沿及其下降幅值来甄别熔滴过渡是否发生。一旦发现下降沿且幅值小于下降沿的给定幅度阈值，则可确认一个熔滴已从焊丝端部脱落，由计算机并行口 (PRT) 输出的控制脉冲随之由高电平变为低电平，从而控制主回路的脉冲电流由峰值下降到基值，完成对一个脉冲过渡一个熔滴的实时控制。

2、Synergic 控制

Synergic 控制是欧美国家近些年在脉冲 MIG (MAG) 焊中广泛采用的一种控制方式。这种脉冲参数与送丝速度间的协调式控制，使脉冲参数对送丝速度的变动具有较强的适应能力。本文所研制的熔滴过渡实时控制实验系统将熔滴过渡的实时控制与

Synergic 控制融为一体。脉冲周期和基值时间与送丝速度间的协调关系按 Synergic 控制方式确定:

依据送丝速度等于熔化速度的原则, 单位时间的送丝量应等于焊丝的熔化量。对于一个脉冲过渡一滴有:

$$AV_f = \varphi_m f \quad (1)$$

式中: A 为焊丝截面积, V_f 为送丝速度, φ_m 为熔滴的体积, f 是脉冲频率。

式 (1) 等价于:

$$T = \varphi_m / AV_f \quad (2)$$

式中: T 为脉冲周期。

此外:

$$T_b = T - T_p \quad (3)$$

式中: T_p 和 T_b 分别为脉冲宽度和基值时间。

式 (2) 为脉冲周期与送丝速度间的协调关系。在焊接过程中, 脉冲峰值电流和基值电流固定不变, 脉冲宽度根据熔滴脱离焊丝的时刻而实时“浮动”, 基值时间依据式 (2) 和式 (3) 而随送丝速度变化, 这就使本系统不仅对熔滴过渡进行了一个脉冲过渡一滴的实时控制, 而且还具有 Synergic 控制的特征。

(三)、熔滴过渡实时控制的工艺实验

为了验证本实验系统对熔滴过渡实时控制的效果, 我们进行了熔滴过渡的高速摄影, 其结果如图 5 所示。在图示照片中的第 13 幅 (C_3) 熔滴脱离焊丝, 同时脉冲电流开始由峰值下降至基值, 从而准确地控制了一个脉冲就过渡一个熔滴。图 6 是焊缝照片。

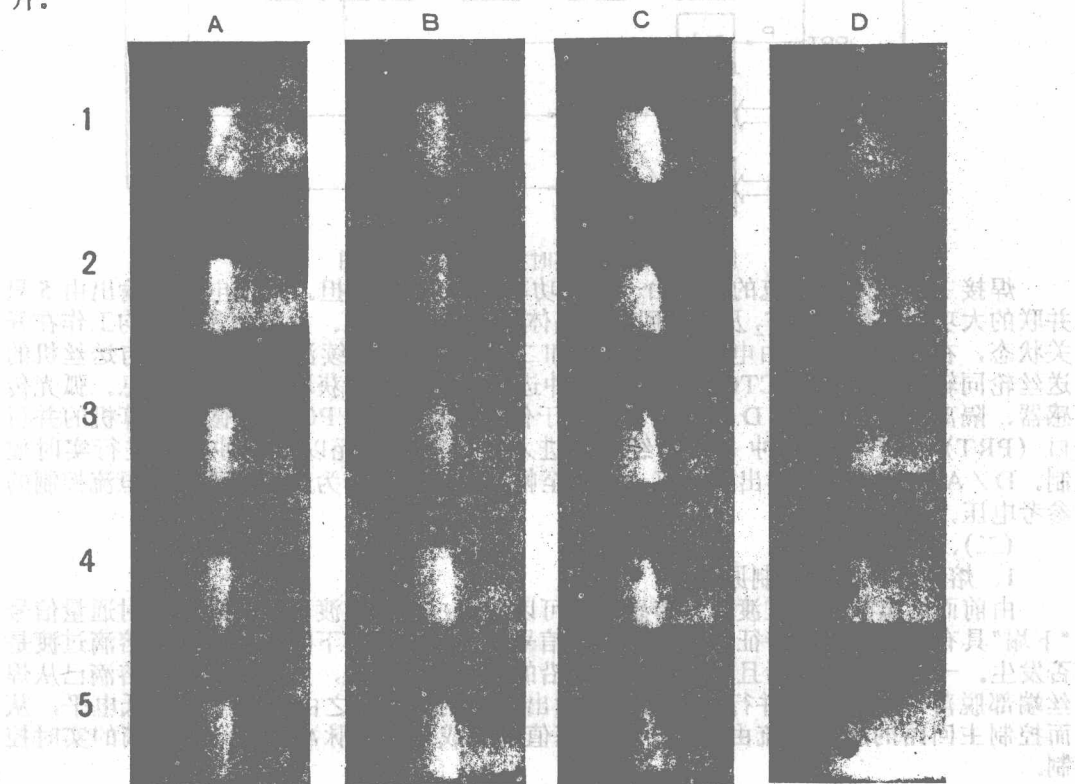


图 5 熔滴过渡实时控制高速摄影照片

$I_p = 360A$, $I_b = 40A$, $l = 18mm$, KC-50T $\Phi 1.2mm$, Ar+5%CO₂, 4000 幅/秒。
归纳实验结果, 对熔滴过渡进行实时控制在工艺上具有如下特征:

1. 在焊接过程中电弧很稳定, 呈典型的射滴过渡形态 (钟形电弧), 过程无飞溅。

2. 焊道熔宽均匀, 表面波纹较细, 成形美观。

3. 当干伸长增加或减少时, 弧长基本保持不变。如下对其原因作一简要分析:

对于熔滴过渡和弧长均开环控制的情形, 当干伸长增加 (减小) 时, 因脉冲参数均不发生变化, 此时干伸长的增加 (减小) 所带来的电阻热增量必然会导致弧长增加 (减小)。对于实时控制熔滴过渡的情形, 脉冲宽度是随熔滴过渡时刻而实时“浮动”的。干伸长的增加 (减小) 将使熔滴过渡时刻前移 (后移), 因而脉冲宽度将自动减小 (增加), 这种脉冲宽度对电阻热变化的适应性补偿使弧长在干伸长变化时能够自动得以稳定。这一特征对于半自动焊是很有意义的。

四、结论

(一)、本文研究的熔滴过渡弧光传感方法能够可靠地用于碳钢 MIG (MAG) 熔滴过渡的在线传感。与目前国外研究的熔滴过渡电信号传感方法相比, 熔滴过渡的弧光传感方法具有灵敏度高、抗干扰能力强、对焊接电源输出无特殊要求的特点, 是一种可望能够方便用于实际工程的熔滴过渡传感方法。

(二)、本文利用弧光传感方法实现了碳钢脉冲 MAG 焊熔滴过渡的实时控制。工艺实验结果表明, 对熔滴过渡进行实时控制在工艺上具有焊接过程非常稳定、无飞溅、焊道成形美观和弧长对于干伸长的变化具有强“自适应”能力的特征。利用这一新传感方式的脉冲 MIG (MAG) 焊控制系统可能为焊接过程控制提供一条新的、更有前途的途径。

参考文献

- [1] S.Liu, T.A.Siewert, H.G.Lan, Metal Transfer in Gas Metal Arc Welding, Proceedings of the 2nd International Conference on Trends in Welding Research, 1989, USA, PP.475-PP.479.
- [2] G.Adam, T.A.Siewert, Sensing of GMAW Droplet Transfer Modes Using an ER100s-1 Electrode, Welding Journal, 69(3), 1990, PP.103-s to 108-s.
- [3] J.A.Johnson, et al., Process Control of GMAW: Sensing of Metal Transfer Mode, Welding Journal, 70(4), 1991, PP.91-s to 99-s.
- [4] J.C.Dutra, Computerized Procedure of Metallic Drop Transfer Analysis for the Determination of Pulsed Welding Variables. IIW DOC:XII-1171-90
- [5] 张龙, 脉冲 MIG(MAG)焊熔滴过渡的弧光传感及其实时控制, 哈尔滨工业大学工学博士论文, 1992年9月。

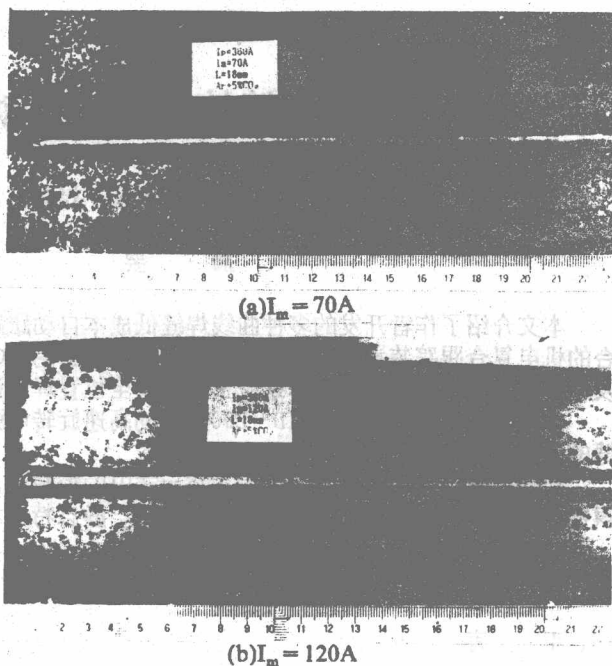


图6 焊接试样照片

$I_p = 360A$, $I_b = 40A$, $l = 18mm$, $Ar+5\%CO_2$.

曲线焊缝的低成本自动跟踪技术

上海交通大学 齐志扬 刘偕 钱静渊

摘 要

本文介绍了作者开发的多种曲线焊缝低成本自动跟踪技术。机械仿形与电弧传感器相结合的机电复合跟踪装置已成功用于极薄不锈钢容器的TIG 焊工业生产。采用焊炬高度微分法及位移积分法的TIG 电弧跟踪系统主要用于全位置焊管设备及横向热丝TIG 窄坡口焊接机组。在MAG/CO₂ 焊方面, 由STD-280主控的高速旋转电弧传感器及其跟踪系统, 主要用于焊缝的曲线自动跟踪。

曲线焊缝的自动跟踪系统采用了数式PID 控制法, 最小时间控制法(Bang-Bang)以及模糊控制法等控制算法, 并探讨了系统的动、静态特性。

关键词: 曲线焊缝、自动跟踪

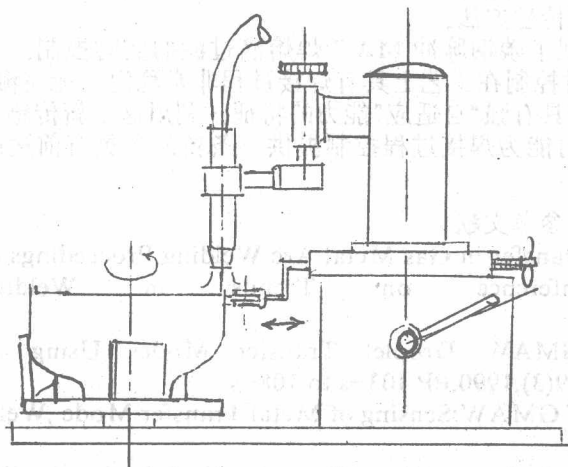
一、引 言

根据我国国情, 发展曲线焊缝的低成本自动化焊接技术是迫切而又必需的。

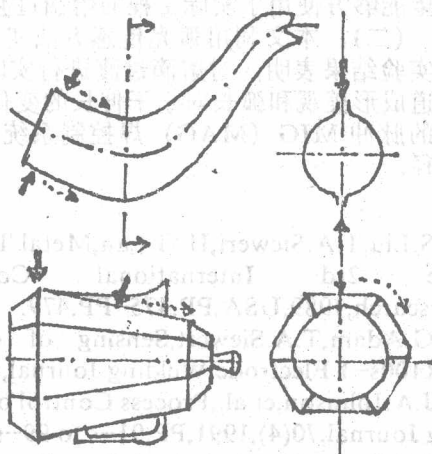
二、曲线焊缝的自动跟踪方法

1. 机械仿形及机-电复合跟踪方法

图一是我们开发的用于极薄不锈钢筒体环缝的仿形跟踪装置。以筒体为样板, 并且带有某些“前馈”特征, 响应时间仅为机械时间常数(10ms级), 效果极为良好。



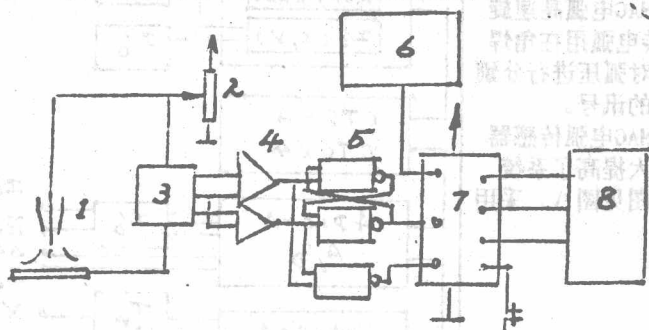
图一 仿形跟踪式自动TIG焊机



图二 二种曲线焊缝产品

但是, 上述方法的局限性较大, 如图二所示的二种产品的曲线焊缝为例。由于曲率甚大, 加工薄壁冲制件的回弹有随机性, 因而很难获得满意效果。

机—电复合跟踪方法就是为这类曲线焊缝的自动跟踪而设计的。即一方面通过“样板”进行仿形(粗调), 同时又由数字式弧长控制器(AVC) 通过步进机进行随机的“微调”跟踪。数字式弧长调节器的电气原理框图见图三。



图三 数字式弧长跟踪器原理
1-焊接电源 2-指令讯号 3-比较电路
4-门槛电路 5-逻辑电路 6-CP脉冲发生电路
7-环形分配器 8-步进机驱动电路

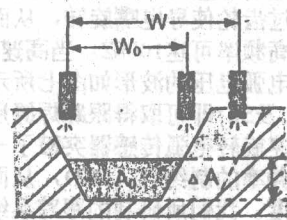
2. TIG电弧传感器及其跟踪系统

(1) 焊炬高度设定法

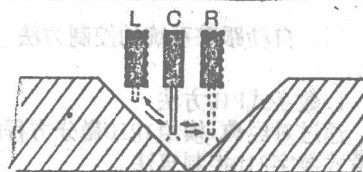
如图四所示, 当电弧(钨极)沿剖口作横向摆动时, 通过AVC系统使焊炬沿图示A→B→C的轨迹提升或下降。Y轴方向上的位移量(e_y)将被检出, 只有当 e_y 值与设定值 e_0 相等时, 摆动才会改变方向, 这样就可以保持摆动轨迹的中心落在焊缝的中心。除了达到跟踪目的外, 尚可兼得焊缝等堆高的理想效果。显然采用这种方法时摆幅及频率是随机改变的。

(2) 位移积分比例法

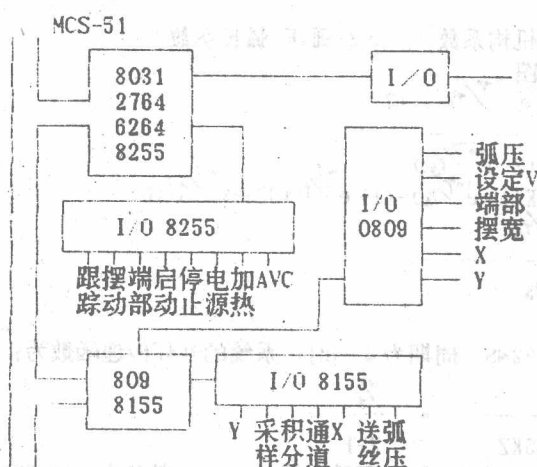
如图五所示, 当焊炬以不变的频率及幅值沿焊缝作横向摆动时, 由于焊炬偏离中心, AVC动作并使焊炬按图示的曲线移动。Y轴位移的左右积分值将随偏离的方向及大小而改变, 其差值即可用来作为传感讯号。TIG电弧跟踪系统的框图见图六。系统采用MCS-51总线。



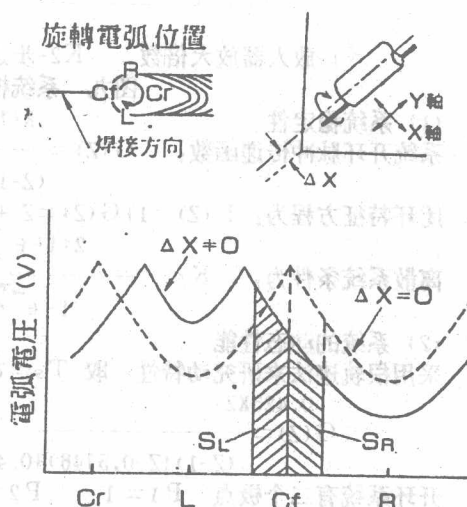
图四 焊炬高度设定法



图五 位移积分比例法



图六 TIG电弧跟踪系统框图



图七 高速旋转电弧传感器原理

3. 高速旋转电弧传感器及其跟踪系统

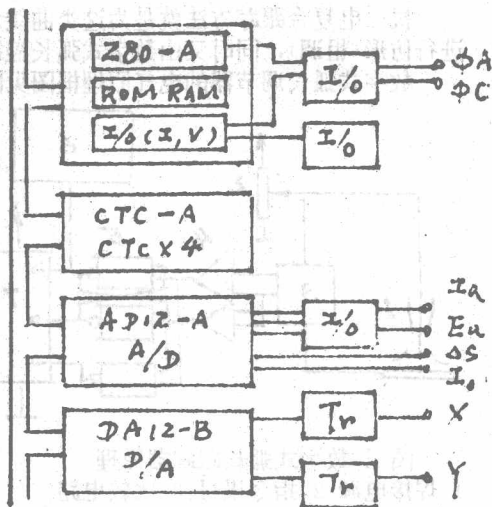
图七是高速旋转电弧传感器的工作原理。MAG 焊导电嘴上的焊丝出口就是偏心的，在焊接过程中伺服电机通过齿轮使导电嘴旋转，从而使MAG电弧高速旋转。最高频率可达100HZ。当高速旋转电弧用在角焊缝时，电弧电压的波形如图七所示，对弧压进行分别积分（SL及SR）即可取得跟踪焊缝所需的讯号。

高速旋转电弧传感器突破了一般MAG电弧传感器中摆动频率的制约（1~10HZ），从而大大提高了系统响应速度。我们所研制的跟踪系统框图见图八，采用STD-Z80标准总线系统。

三、自动跟踪系统的控制方法

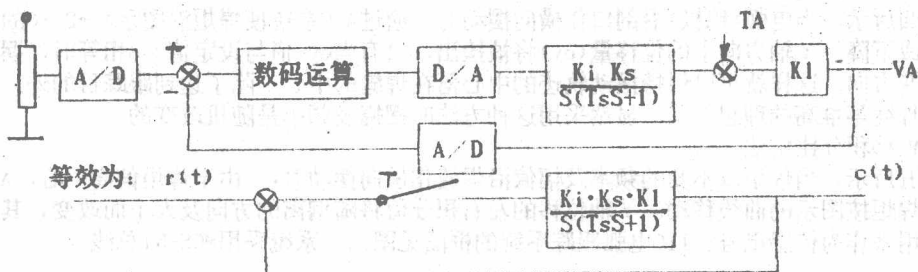
1. 数字式PID方法

通过对经典（模拟）PID微分方程的离散化，选择增量式数字PID控制算法。



图八 STD-Z80跟踪系统框图

即，取增量为其讯号 $\Delta u_i = u_i - u_{i-1} = d_{oei} + d_{ie} - d_{e-1} + d_{e-2}$
系统的方框图见图九。



K1-放大器放大倍数 K2-步进机构系数 K3-弧压-弧长系数

图九 系统框图

(1) 系统稳定性

系统开环脉冲传递函数： $G(Z) = \frac{K(1 - e^{-T/T_s})}{(Z-1)(Z - e^{-T/T_s})}$

闭环特征方程为： $F(Z) = 1 + G(Z) = Z + [K(1 - e^{-T/T_s}) - (1 + e^{-T/T_s})]Z + e^{-T/T_s} = 0$

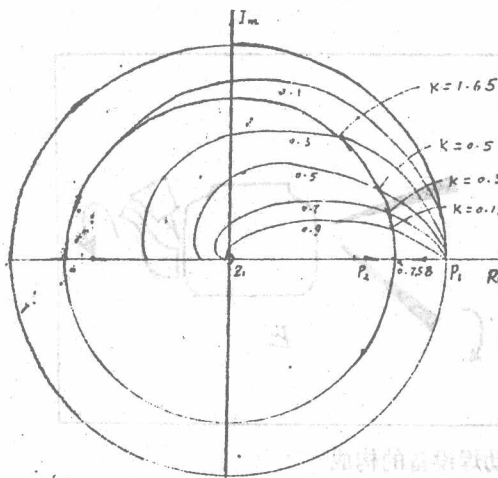
离散系统条件为： $K < \frac{2(1 + e^{-T/T_s})}{1 - e^{-T/T_s}}$

(2) 系统的动态性能

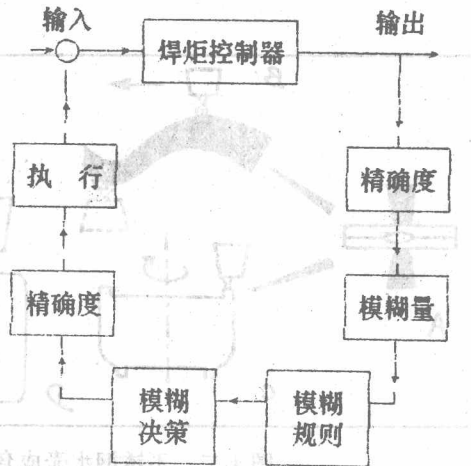
采用根轨迹法来研究动特性。取 $T_s = 7.22\text{MS}$ 周期为 4ms 时，系统的开环传递函数为：

$$G(Z) = \frac{0.425KZ}{(Z-1)(Z-0.5748) + 0.425KZ}$$

开环系统有二个极点 $P_1 = 1$ $P_2 = 0.5748$ 和一个另点 $Z_1 = 0$ ，分离点 $d = +0.758$ 其根轨迹图见图十。当 $K = 0.3$ ，阻尼（ $\xi = 0.7$ ）比较合适时，系统有最快的响应。如图所示，若允许误差取终值的5%，调整时间仅为0.026秒。



图十 系统根轨迹图



图十一 模糊控制方法框图

Bang—Bang控制属于动态最优化控制的一种，它是基于“最大值原理”，即在某种控制作用下，系统从一种状态运动到另一种状态所经历的过渡时间最短。在AVC系统中采用Bang—Bang控制的意义在于当检测值的误差量 $|e| \geq Q$ (阈值) 时，控制器将按开关函数 $u(t)$ 输出。即：

$$u(t) = \begin{cases} +1 \\ -1 \end{cases}$$

而当调整后的下次采样值 $|e| < 0$ 时，控制器将转入PID控制算法。

即： $|y_i - y_0| = |e| \geq Q$ PID

实验证明对于类似电弧传感器以及熔透红外适应控制器等非线性，强干扰的复杂工况 Bang—Bang控制法是有相当应用潜力的。

3. 模糊控制方法

建立在模糊集[Fuzzy sets]理论基础上的模糊控制方法，由于无需确切了解对象的数学模型，而且模糊控制规则又能在控制微机中方便实现，因而十分适用于等变量，非线性的焊缝跟踪系统。通过电弧传感器的模糊控制方法框图见图十一。

模糊关系(矩阵)为：

$$R = (NBe \times PBN) U (Nse \times Psn) U (Oe \times On) U (Pse \times Nsn) U (PBe \times NBN)$$

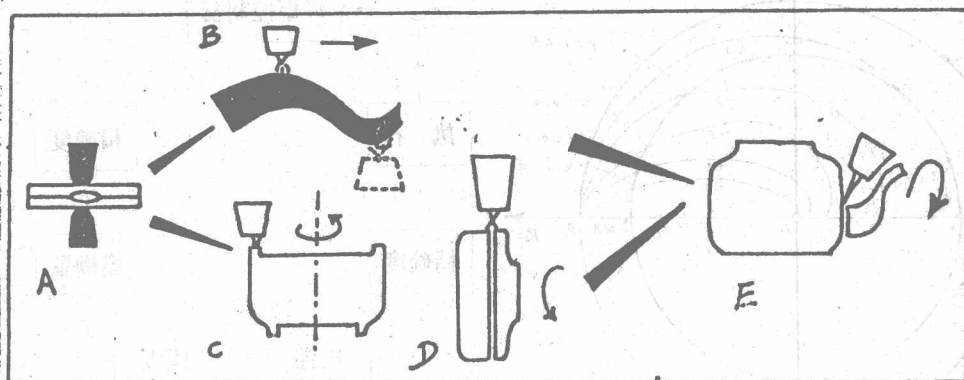
模糊决策的结果将通过“选择从属度最大”原则转化为精确量，若决策的模糊集为 e (弧压偏差) 时，则弧长控制器的步进电机的模糊响应 $\hat{n} = e \cdot R$ 。

由于一般情况下 R 是一个较大的矩阵，对单片机来讲，运算时间较长，为了加快响应，通常是先将 R 制成表。

实际应用的模糊控制法采用双输入单输出控制系统，用来提高系统稳定性，以防止发生振荡。

四、工业应用

本文讨论的各种低成本焊缝跟踪法均已在工业上得到应用。图十二是不锈钢水壶成套自动TIG焊设备的构成。响应时间0.08秒~0.1秒，其生产能力为15万件/年，成品率高于95%。AVC控制器的技术指标是灵敏度及精度均为 $\pm 0.1V$ 。

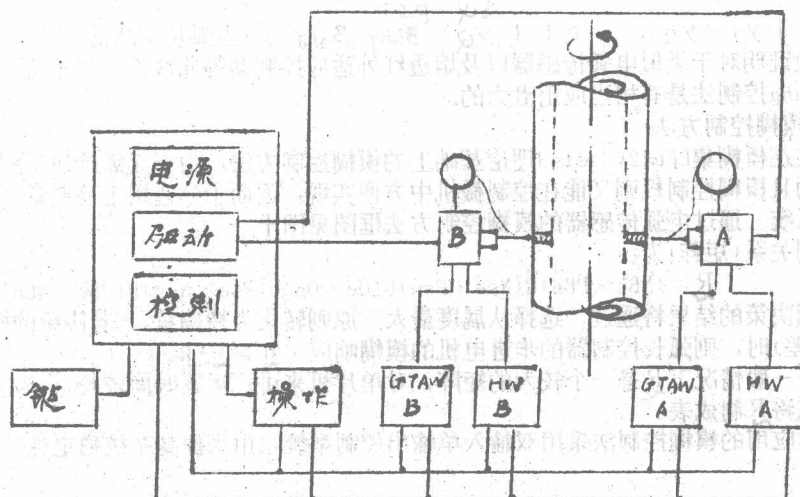


图十二 不锈钢水壶成套自动焊设备的构成

不锈钢六角形咖啡壶的成套自动焊设备也是通过机—电复合跟踪方法，解决了六角形环缝的焊接问题。

全位置热丝TIG焊管机组，采用TIG电弧传感器作为焊缝跟踪及规范的自动控制。STD-280总线微机系统对全位置8个象限进行程序及规范控制，不仅确保了高难焊件的质量，而且使焊接速度比常用的TIG方法提高了整整一倍。

横向热丝TIG窄剖口焊接机组(图十三)。利用MCS-51 微机系统通过电弧传感器获得底部焊缝的自动跟踪并实现规范的自动调节。这种高生产率的优质焊接新技术可望在核容器、汽轮机转子、大型阀门等产品中推广应用。



图十三 横向热丝TIG窄剖口焊接机组

参考文献12篇 (略)