

管道环焊缝多焊炬自动内焊机关键技术分析

曾惠林^{1,2}, 杜则裕¹, 黄福祥^{1,2}

(1. 天津大学 材料科学与工程学院, 天津 300072;

2. 中国石油天然气管道科学研究院, 河北 廊坊 065001)

摘 要: 管道环焊缝自动内焊机主要用于管道环焊缝焊接施工中的管口组对和根焊焊接, 相比其它的根焊设备和技术, 内焊机完成根焊质量可靠, 效率最高. 重点研究了长输管道环焊缝多焊炬自动内焊机的总体设计、数字式控制系统、细丝焊接电弧的控制及环焊缝自动内焊工艺等关键技术. 现场实际应用表明, 研究出的环缝多焊炬自动内焊机结构合理、控制先进, 完成一个环焊接头根焊用时仅 90 s. 其可靠性和野外环境适应性完全满足现场焊接施工要求.

关键词: 管道; 内环缝; 多焊炬; 自动焊机; 根焊

中图分类号: TG444.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2009)07-0077-04



曾惠林

0 序 言

随着世界能源需求的日益增长, 管道建设逐渐趋向于长距离、高压力的发展方向, 管道工程用钢管也趋向于强度等级高、管径和壁厚大的发展方向. 这大大增加了现场环焊缝焊接的劳动强度, 也降低了管道工程的建设速度. 环焊缝的现场焊接施工一般采用流水作业的方式, 因此环焊缝第一层焊道(根焊道)的焊接速度和焊接质量成为制约着整个工程建设进度和建设质量的瓶颈.

早在 20 世纪 60 年代, 国外就开展了管道自动焊设备的研究开发和应用工作^[1]. 其中, 管道环焊缝自动内焊机(The pipeline internal circumferential automatic welding machine)主要用于环焊缝焊接施工中的管口组对和完成根焊工序, 可极大地提高环焊缝根焊的焊接速度和焊接质量. 如采用 6 焊炬环焊缝自动内焊机完成 $\phi 1\ 016$ mm 钢管的根焊需时 90 s. 到了 20 世纪 90 年代, 随着国外管道建设项目的增加, 环焊缝自动内焊机在现场焊接施工中的应用已逐渐成熟^[2].

目前, 国外环焊缝自动内焊机主要采用熔化极富氩保护电弧焊方法, 代表设备有美国 CRC 公司的 IWM 型内焊机和英国 NOREAST 公司的 AW 型内焊机. 内焊机的核心部分是涨紧和定位装置、焊炬旋

转机构、行走及刹车装置, 还包括气动控制系统、电气控制系统、焊接修补系统等. 随着中国管道建设高峰期的到来, 20 世纪 90 年代开始, 国内加紧了管道自动焊设备的研究开发和应用工作. 虽然中国管道自动焊设备的起步较晚, 但研究开发和应用速度较快, 20 年走完了发达国家管道自动焊设备 40 多年的研发进程. 文中重点研究了长输管道环焊缝多焊炬自动内焊机的总体设计、电气控制系统、细丝焊接电弧的控制及环焊缝自动内焊工艺等关键技术.

1 多焊炬自动内焊机的总体设计

1.1 多焊炬自动内焊机技术要求

根据管道环焊缝内部根焊的技术特点, 要求根据钢管管径设置不同的焊炬单元数量, 保证在 90 s 时间内完成根焊的焊接. 如 $\phi 1\ 219$ mm 钢管用内焊机的焊炬单元数量为 8 个, 焊接速度为 0~1 000 mm/min, 送丝速度 0~13 000 mm/min, 整机在钢管内面行走速度为 0~60 m/min. 内焊机应具有涨紧机构以实现管口组对, 组对后能够同时保证多个焊炬中心精确对准环焊缝中心. 根焊时钢管固定不动, 焊接过程是依靠焊接旋转机构驱动多焊炬焊炬单元旋转完成. 完成一道焊缝的根焊后, 内焊机能够行走至下一道管口进行组对和完成根焊工序. 应有刹车装置避免内焊机在管子内的自由移动.

1.2 多焊炬自动内焊机系统总成

根据技术要求, 研制一套 8 焊炬自动焊内焊机

(图 1), 其系统主要构成有焊接单元(含焊炬顶起及复位机构、送丝机构等)、焊炬旋转机构(焊接单元固定在旋转机构上)、定位装置、涨紧装置、行走机构、刹车装置、储气罐、遥控盒、气体保护系统、气动控制系统、电气控制系统、焊接修补系统等部分组成. 为保证施工现场安全, 所有驱动电机均采用 24 V 直流伺服电机.

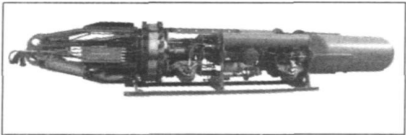


图 1 管道多焊炬内环缝自动焊机

Fig. 1 Internal circumferential automatic welding machine with mutli torches

1.3 多焊炬自动内焊机结构设计

多焊炬自动内焊机采用长构架机身. 整机的行走、定位、管口组对由气动(压缩空气)系统驱动. 焊接时, 焊炬旋转装置先沿逆时针方向旋转 45°, 左侧的 4 个焊炬同时起弧, 完成左半圆周焊接; 然后焊炬旋转装置顺时针转动, 再恢复到原位后, 完成右半圆周的焊接(图 2). 控制系统控制保护气体提前送气、延时断气. 整机具有自监测功能, 可以实时监测电弧电压及焊接过程的稳定性.

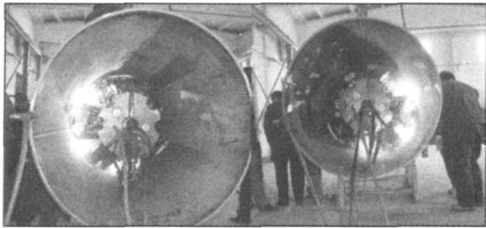


图 2 内焊机按顺序完成左右半圆周焊接

Fig. 2 Carrying on left and right side welding in sequence of internal welding machine

2 多焊炬自动内焊机控制系统设计

2.1 元器件选择

系统的核心控制单元选用进口美国的可编程逻辑芯片(CPLD)^[3]. 送丝电机和旋转盘驱动电机的控制方式采用直流电机 PWM 脉宽调制模式, 控制电路各选用一个 CPLD 可编程芯片. 电机的驱动电路选用进口美国的 DMOS 全桥电机驱动器. 焊炬旋转机构旋转盘的极限位置检测由霍尔传感器完成. 为了最大可能的保证系统稳定性和避免干扰, 所有的输入输出信号都与主控芯片进行了光电隔离处理^[4].

2.2 控制系统功能构成

多焊炬自动内焊机需要完成管口组对、焊炬旋转、根焊焊接、管内行走等多个功能, 对电气控制系统的要求较高. 其控制系统功能构成见图 3.

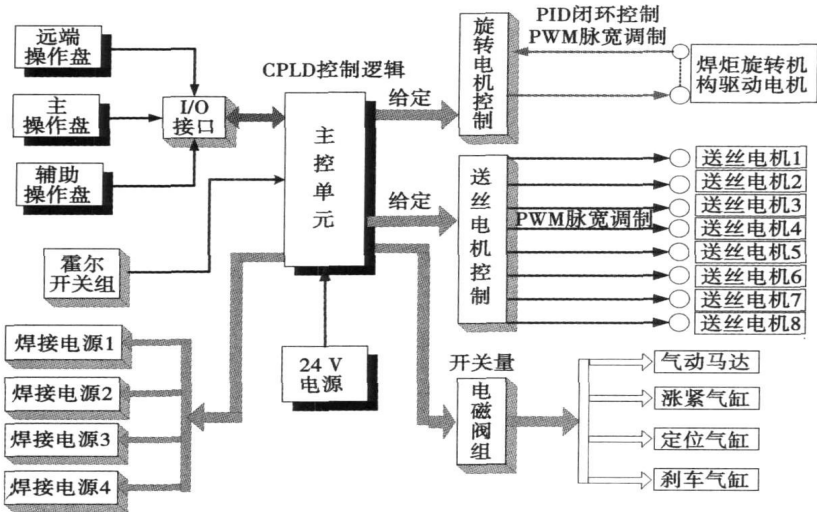


图 3 多焊炬自动内焊机控制系统方框图

Fig. 3 Control system of mutli-torches internal automatic welding machine

主要完成的功能有: ①处理并响应各种功能开关输入命令; ②完成多个直流送丝电机的伺服控制;

③完成 1 个焊炬旋转机构直流电机的伺服控制; ④完成保护气体电磁阀和焊接电源继电器的驱动控

制;⑤利用旋转电机编码器完成焊炬旋转机构的转动定位;⑥利用霍尔开关完成焊炬旋转机构的极限定位。

控制系统对运动参数的伺服控制,如焊炬旋转的速度伺服控制、送丝机的设定和恒速控制。控制系统对焊接参数的控制,通过电源控制电路接口板,接通焊接电源,实现对焊接电源的焊接方式、焊接电流、脉冲频率与占空比、气体保护系统等控制。

控制系统对参数监控调整人机交互系统控制,通过遥控操作盒可以实现对运动参数和焊接参数的实时设定、调整和监控参数的显示等控制。

霍尔开关严格控制焊炬的空间位置、控制焊接开始、停止以及整机的焊接次序(焊炬的顺时针和逆时针运动)。

3 细丝条件下电弧控制分析

由于在管道的内部进行根焊,内焊机本身的结构不允许使用粗焊丝(焊丝粗,质量重、体积大),另外从热输入和焊缝成形方面考虑,也不允许使用粗丝。最主要的原因还是细丝焊接时可以充分利用电弧的自调节功能。

在进行管道内环缝焊接时,由于管口椭圆度的不同以及错边量的影响,焊炬相对于焊道的上下位置会发生变化。由于设备没有焊炬上下位置调整机构,这时焊丝的伸出长度会发生变生,引起焊接电流的变化,从而会影响焊接过程的稳定性。

内焊机单个焊炬仅完成管周长 1/8 区域的焊接。因此对单个焊炬而言,焊接时其焊接电流、电弧电压基本上保持不变。所以自动内焊机采用恒速送丝方式。该恒速送丝系统是一种弧长稳定系统,其弧长的稳定不是借助于调节器,而是借助于电弧自身调节弧长的功能,也就是电弧的自身调节特性,在电弧受到扰动时,弧长发生变化,但电弧具有恢复原来弧长的能力。与内焊机匹配使用的焊接电源其特点是外特性较为平缓。当电弧长度增加时,引起电流明显变小,焊丝的熔化速度自动减小;而弧长缩短时,引起电流明显增加,焊丝的熔化速度会迅速自动增加。

等速送丝系统为二阶系统,其特征方程为

$$Ls^2 + (R + K_a - K)s + aC = 0 \quad (1)$$

式中: L 为电弧的弧长, mm; R 为焊接回路的电阻, Ω ; K_a 为电弧静特性曲线斜率; K 为电源外特性曲线斜率; a 为电弧参数,与焊丝直径、保护气体、材料有关; C 为焊丝熔化系数。

由二阶方程的分析方法可知,该系统的阻尼比

ζ 、无阻尼自然频率 ω 等特征参量为

$$\zeta = \frac{R + K_a - K}{2\sqrt{LaC}} \quad (2)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{aC}{L}} \quad (3)$$

研究表明,在弧长发生变化的初始阶段,焊接瞬时电流值较大,弧长恢复速度较快,随着弧长的恢复,电流增量减小,弧长恢复速度也逐渐减小。由式(2)也可以看出,增加电源的外特性斜率 K ,当弧长遇到干扰时,可以加速恢复过程,因此从增强电弧自调节作用考虑,等速送丝控制系统应选用缓升电源外特性为宜。焊丝直径越小, aC 值越大,系统的 ζ 值减小, ω 值增大,系统的动态品质好,电弧的自调节作用,电弧响应的快速性越好,送丝速度的干扰对弧长的影响小,因此这种弧长控制用于细丝焊具有很好的动态品质^[3]。

通过使用 $\phi 1.2$ mm, $\phi 0.9$ mm 的焊丝进行对比试验,发现 $\phi 0.9$ mm 焊丝无论是焊接过程的稳定性还是焊接质量都好于 $\phi 1.2$ mm 焊丝。从而也验证了采用细焊丝,充分利用其电弧的自调节作用,在一定伸出长度范围内电弧可以稳定地燃烧,使焊接过程平稳地进行。

4 焊接工艺试验与接头力学性能

采用研制的 8 焊炬环焊缝自动内焊机,在 $\phi 1\ 219$ mm \times 18.4 mm 的 X80 钢管上进行了环焊缝根焊试验。焊接材料为 AWS A5.18 ER 70S-G,焊丝直径为 $\phi 0.9$ mm。坡口形式如图 4 所示。根焊焊接的参数为:焊接电流 180~200 A,电弧电压 20~22 V,极性为直流反极性接法。送丝速度 8~11 m/min,保护气体成分 75% Ar+25% CO₂,保护气体流量 15~20 L/min。

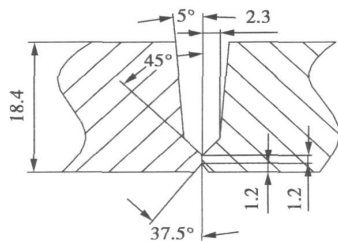


图 4 内焊机焊接坡口形式(mm)

Fig 4 Bevel type for internal welding

试验结果表明,焊缝表面平整,无内凹、未焊透、

烧穿等缺陷, 成形优良(图 5)。

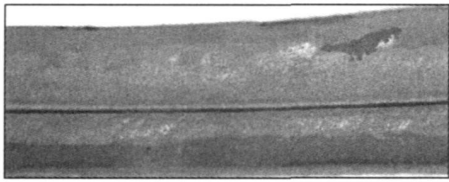


图 5 内焊机完成的内焊缝外观

Fig 5 Joint appearance by internal welding

根焊完成后, 使用自动外焊机和 AWS A5.18 ER 80 SG 的 $\phi 1.0$ mm 焊丝完成整个环焊缝的焊接, 并按中国石油天然气集团公司标准《西气东输二线管道工程线路焊接技术规范》Q/SY GJX0110—2007 的要求进行检验。结果表明, 环焊缝 X 射线检测 I 级合格, AUT 超声检测无缺陷, 环焊接接头的力学性能试验合格, 符合相关技术标准的要求。

5 结 论

(1) 研制了多焊炬环焊缝内焊机, 该设备可靠性高、稳定性好, 整机结构设计合理, 操作简便, 易于控制。该设备的成功应用提供了一种优质高效的根焊工艺方法, 有效地解决了焊接施工质量与效率之

间的矛盾。

(2) 通过对细焊丝条件下电弧控制理论的研究, 验证了采用细焊丝在一定伸出长度范围内电弧可以稳定地燃烧, 焊接过程可以平稳地进行。

(3) 利用研制的 8 焊炬环焊缝内焊机进行了 $\phi 1\ 219$ mm \times 18.4 mm X80 钢管的环焊缝根焊试验, 选用合理的焊接工艺参数和坡口形式, 实现了环焊缝的根焊焊接, 焊缝质量符合相关的标准要求。

参考文献:

- [1] 陈善本. 焊接过程现代控制技术[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2001.
- [2] 殷树言. CO₂ 焊接设备原理与调试[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [3] 边计年. 用 VHDL 设计电子电路[M]. 薛宏熙译. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [4] 徐志军, 徐光辉. CPLD/FPGA 的开发与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [5] 赵家瑞. 焊接自动控制基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.

作者简介: 曾惠林, 男, 1965 年出生, 博士研究生. 主要从事石油天然气长输管道和储罐施工机具的研究. 发表论文 10 余篇.

Email: pipezhl@sina.com.cn

[上接第 76 页]

(3) 晶体管式电源结构比较简单, 成本低, 性能可靠。

5 结 论

(1) 针对微型零件对电阻点焊电源的特殊要求, 成功设计了基于 dsPIC30F6010 为控制核心的晶体管式电阻点焊电源, 电源的开关频率达到 100 kHz, 输出额定焊接电流为 1 000 A, 输出空载电压为 15 V。

(2) 通过与其它微型零件焊接电源电流波形特性比较, 该晶体管式电阻点焊电源电流波形稳定、纹波小、一致性好, 表明该晶体管式电阻点焊电源有其独特的优势。

(3) 电阻点焊频率提高到 100 kHz, 有利于提高控制分辨率、电源的动态响应和电流稳定性, 填补了国内空白。试验证明, 系统运行稳定可靠, 动态响应速度快, 控制精度高。是一种理想的精密焊接电源, 有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 赵熹华, 冯吉才. 压焊方法及设备[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [2] 刘成玉, 王笑川, 赵建华. 微型件精密点焊技术[J]. 电焊机, 2007, 37(5): 47—50.
Liu Chengyu, Wang Xiaochuan, Zhao Jianhua. Technology of micro-pants spot welding[J]. Electric Welding Machine, 2007, 37(5): 47—50.
- [3] Zhou Y. Weldability of thin sheet metals by small-scale resistance spot welding using high-frequency inverter and capacitor discharge power supplies[J]. Journal of Electroic Materials, 2001, 8, 30(8): 1012—1020.
- [4] Wang X C, Lui M Y. An arbitrary waveform control system for precise welding power source[J]. Materials Processing Technology, 2002, 2—3(122): 185—188.
- [5] 叶玮渊. 微型零件精密逆变电阻点焊智能控制的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2007.

作者简介: 曹 彪, 男, 1963 年出生, 教授. 主要从事材料加工信息与控制、数字化电源设备及智能控制研究. 主持过两项广东省自然科学基金项目和多项企业委托项目的研究. 发表论文 50 余篇.

Email: meibao@sut.edu.cn

ing the extent of externally-expanded deformation of weldment and the cooling speed of metals in and around the weld.

Key words: aluminum alloy; welding; restraint condition; hot cracking

Design of transistor style high-frequency resistance spot welding

power supply CAO Biao, WANG Xiaodong, FAN Fengxin, LI Jianguo (College of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China). p 73—76, 80

Abstract According to the special requirements of micro-part resistance spot welding technics, a transistor-style high-frequency power supply was designed, which could improve the control precision of the power. The main circuit structure, the working principle, and the controlling core dsPIC30F6010 were introduced. The 100 kHz frequency was applied for the first time in the resistance spot-welding power supply field, as a result, the control accuracy and response speed were greatly increased, and the welding current waveform were excellent. It is proved that this power supply has a unique advantage in precise welding and is more adaptive, compared with other micro-part welding powers supply.

Key words: transistor style; resistance spot-welding; dsPIC30F6010; power supply

Analysis on key technologies for pipeline internal circumferential automatic welding machine with multi-torch

ZENG Huilin^{1,2}, DU Zeyu¹, HUANG Fuxiang^{1,2} (1. Tianjin University, School of Materials Science and Engineering, Tianjin, 300072, China; 2. Pipeline Research Institute of CNPC, Langfang, 065001 Hebei, China). p 77—80

Abstract: The pipeline internal circumferential automatic welding machine (PIW machine) has been mainly used for pipe alignment and welding root pass in course of pipeline construction. Compared with the other root pass equipment and technologies, PIW machine has the higher efficiency and better root quality. This paper researches the key technologies such as the entire design of PIW machine with multi-torches, digital control system, arc-control for small size wire and the internal welding process. The site application indicates PIW machine with multi-torches has the advantages of reasonable structure and advanced control system, its welding speed is 90s per joint. Its reliability and the filed adaptability to environment meet the site welding construction request completely.

Key words: pipeline; internal circumferential joint; multi-torch; automatic welding machine; root pass

Microstructure transformation and mechanical properties of

TC4 alloy joints welded by TIG WU Wei, CHENG Guangfu, GAO Hongning, WU Lin (State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China). p 81—84

Abstract The microstructure and phase transformation of TC4 alloy weld joints during TIG welding were investigated. The mechanical properties of the welded joints were also tested. When the TC4 alloy was heated by TIG arc, grains in the weld bead and heat affected zone (HAZ) were badly coarsening. The grain size in HAZ has mutant character. The microstructure in the transition region presented zonal distribution. There was no obvious fine grained region. In temperature-rise period, the transformation of $(\alpha+\beta)\rightarrow\beta$ was divided into two processes which included the original $\beta\rightarrow$ high-temperature β and the original $\alpha\rightarrow$ high-temperature β . And the previous phase transformation was finished before the next starting. In the cooling process, slowly cooling rate introduced α' phases nucleating at the high-temperature β grain boundary in the $\beta\rightarrow\alpha$ transform temperature range. The α' martensite grew up into the center of the β grains and generated acicular martensite. With quicker cooling rate, large numbers of α' phase nucleated in the high-temperature β grains and generated orthogonally oriented martensites. Hardness measurements show there is a softened zone in HAZ. Tensile strength of welded joint was approximate with the base metal. And the properties of the welded joints were good.

Key words: TC4; heat affected zone; microstructure transformation; mechanical properties

Content of nitrogen and property of deposited metal of self-shielded fluxed-cored wires

WANG Qingbao^{1,2}, SHI Lipeng^{1,2}, WANG Lizhi^{1,2} (1. MCC Welding Science & Technology Co., Ltd, Beijing 100088, China; 2. Welding Research Institute, CRI BC, MCC, Beijing 100088, China). p 85—88

Abstract Using the self-shielded fluxed-cored wires of deposited metal with 00Cr13Ni4Mo, the number of layer, the welding temperature, welding velocity, current and voltage are, the other welding parameters are hold the line. The different changing solely content of nitrogen, the metallographic structure and hardness were studied. The results show that the welding parameters have greatly effect on the content of nitrogen, the metallographic structure and hardness. In repairing the continue rollers, welding parameters must be carefully considered especially for the open arc welding process.

Key words: welding parameter; number of welding layer; welding temperature; welding velocity

Application of substructure and submodelling on 3D numerical simulation of welding

ZENG Zhi¹, WANG Lijun¹, ZHANG Han² (1. School of Materials Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Julong Steel Pipe Co., Ltd, Qingxian 062658, Hebei, China). p 89—93

Abstract For the computing time and accuracy in the numerical simulation on welding residual stresses and distortion of large structure, an effective finite element method with substructure and submodelling was developed in this paper. The theory models of substructure and submodelling were represented, both applied condition