

# 低碳钢管子全位置 A-TIG 焊接法

张瑞华<sup>1</sup>, 王海涛<sup>1</sup>, 王 荣<sup>2</sup>, 潘乾刚<sup>3</sup>

(1 兰州理工大学 甘肃省有色金属新材料省部共建国家重点实验室, 兰州 730050)

2 苏州工业园区华焊科技有限公司, 江苏 苏州 215021

3 东方锅炉集团股份有限公司, 四川 自贡 643001)

**摘 要:** A-TIG 焊是一种新型高效的焊接法, 具有熔深深, 热影响区小, 焊缝窄, 变形量小, 效率高等特点. 对低碳钢管子全位置 A-TIG 焊接法进行了研究. 在分析了涂覆活性剂后管子全位置焊接过程中熔池的受力状态的基础上, 制定了相关焊接工艺. 对 6 mm 厚的低碳钢管子焊接时不开坡口, 将活性剂涂刷于待焊焊道表面, 使用管道全位置焊机进行焊接, 可以一次焊透, 并能单面焊双面成形. 突破了管道全位置焊机只能焊接薄壁管的局限性, 使得管道全位置焊机的使用范围进一步扩大, 焊接效率大幅度提升.

**关键词:** 活性焊; 低碳钢管; 全位置焊接

中图分类号: TG401 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2010)06-0013-04



张瑞华

## 0 序 言

在建造和安装天然气、石油等设备时, 每年需要焊接的管道接头数量达数十万个之多, 对焊接质量要求非常高<sup>[1]</sup>. 在焊接壁厚超过 2 mm 的管道全位置接头时, 传统焊接方法需要先开坡口用氩弧焊打底, 然后熔化焊丝填充坡口. 焊接这种接头时, 由于焊缝成形条件不断变化, 焊缝区易产生缺陷<sup>[2-3]</sup>. 例如, 在安装核电站发电机组管道时, 采用传统焊接方法焊接的接头有 15%~30% 存在焊接缺陷, 需要返修. 即使采用全自动焊接技术, 也难免有缺陷的产生. 如何改善管道全位置焊接工艺, 保证获得高质量的焊接接头, 一直是管道全位置焊接急需解决的问题. 近期, A-TIG 焊接法在管管、板板对接等领域中得到了重要应用, 该方法具有焊接熔深深, 热影响区小, 焊缝窄, 变形量小, 效率高、成本低, 节省材料等优点<sup>[4-9]</sup>. 使用兰州理工大学开发的 A-TIG 焊活性剂进行焊接, 在相同焊接条件下焊缝熔深可达到传统 TIG 焊熔深的 2~3 倍, 对于 12 mm 以下的不锈钢和碳钢对接焊缝, 可以不开坡口, 一次焊接完成, 并能单面焊双面成形<sup>[7-10]</sup>. 作者在分析管子全位置焊缝成形条件变化的基础上, 对管子全位置 A-TIG 焊接法进行了研究.

## 1 试验方法

使用苏州工业园区华焊科技有限公司提供的全中文自动 TIG 焊机进行焊接. 焊机为 200 K 高精度逆变电源, 具有数字化控制系统和优化分区系统, 每个程序可划分多达 16 个区间, 具有分区间电流缓升、缓降过程控制功能. 低碳钢管由东方锅炉集团股份有限公司提供, 直径为 51 mm 壁厚为 6 mm 管子长度为 150 mm. 焊接前将管子对接端切齐, 无间隙对中、夹紧、点固. 焊接时取适量自行研制的低碳钢活性剂粉末置于烧杯中, 加入丙酮将其调成糊状, 用刷子均匀地刷涂到管子待焊焊缝中间, 如图 1 所示, 丙酮挥发后焊接. 涂敷活性剂时需注意待点固焊点冷却后才可以涂敷, 活性剂可以在管子装夹

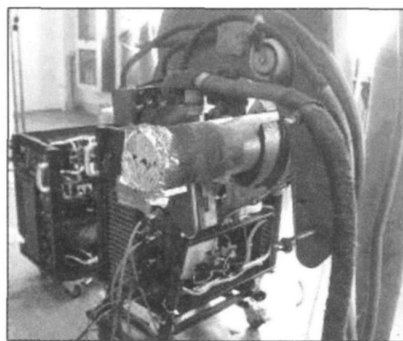


图 1 管子全位置焊接示意图

Fig 1 Diagram of all position welding of pipe

前涂敷,也可以在管子装夹后涂敷,涂敷活性剂的管子不允许碰撞或者划擦,一旦活性剂脱落允许补刷,焊接时管子内部通氩气保护。

2 管道全位置焊缝的熔池受力分析

管道全位置焊接时在焊缝全部熔透的情况下,液态金属熔池主要受以下几种力的作用。电弧对熔池表面的压力  $F_{arc}$ 、熔池所受的重力  $G_s$ 、电磁力  $F_e$ 、外表面张力  $\sigma_1$ 、内表面张力  $\sigma_2$ 、固液界面上工件对熔池的反作用力  $N$ 和浮力  $F_b$ 的作用<sup>[11-12]</sup>。

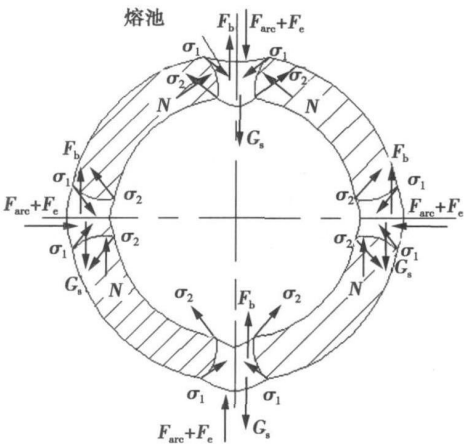


图 2 管道全位置活性焊接熔池受力分析  
Fig 2 Force diagram in molten pool of all position welding with activating fluxes

在管道全位置焊接时,随着焊接位置的不同,液态金属熔池的受力状况会发生变化,焊缝成形就会受到影响。在涂敷活性剂的条件下熔池受力和熔池

流体流动方向将完全不同于传统焊接方法。将管子位置按照钟表的刻度进行划分,取四点有代表性位置进行分析。在涂敷活性剂的条件下,当焊枪处于时钟 12 点位置时,  $F_{arc}$   $F_e$  与  $G_s$  的作用方向相同,上表面张力  $\sigma_1$  的方向从熔池四周指向中心,将与以上诸力形成合力,冲击熔池底部。当焊枪处于时钟 3 点位置时,  $F_{arc}$   $F_e$  与  $G_s$  的夹角由  $0^\circ$  变化为  $90^\circ$ ,在垂直方向上  $G_s$  与管壁的反作用力  $N$  和  $F_b$  相平衡,焊缝成形主要受  $F_{arc}$  和  $F_e$  以及熔池的表面张力  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$  的共同作用,在活性剂作用下熔池上表面张力的方向依然从熔池四周指向中心。当焊枪处于时钟 6 点位置时,  $F_{arc}$   $F_e$  与  $G_s$  的方向夹角由  $90^\circ$  增加到  $180^\circ$ ,在垂直方向上  $G_s$  与  $F_{arc}$   $F_e$  方向相反,而管壁的反作用力  $N$  失去作用。当焊枪处于时钟 9 点位置时,熔池的受力的状态与 3 点位置相似,但与 3 点位置下坡焊不同的是,下坡焊时熔化的液态金属的流淌方向与电极行走方向相同,而 9 点上坡焊时熔化的液态金属的流淌方向与电极行走方向相反。在管道全位置焊接时,上坡焊 7 点至 9 点位置易出现焊接质量问题,如焊瘤、未焊透、焊穿等。

3 焊接参数

试验采用直流正接,所选用的钨极为铈钨极,直径为 2.4 mm,尖端角为  $60^\circ$ ,喷嘴直径为 11 mm,保护气为纯氩气,纯度为 99.9%,气体流量为 10~15 L/min,管内保护气体是纯氩气,纯度为 99.9%,流量为 1~2 L/min,电弧长度为 3~5 mm。

根据以上熔池的受力情况,确定焊接参数,对管子进行分段,每一段采用不同的焊接参数。全位置焊接基本参数如表 1 所示。不同位置的焊接参数如表 2 所示。

表 1 全位置焊接基本参数  
Table 1 Parameters for all position welding

分段数 n	电流 方式	衰减时间 $t_f/s$	点段间 电流	上升时间 $t_r/s$	熄弧电流 $I_f/A$	预熔电流 $I_p/A$	预熔时间 $t_p/s$	行走 方向	行走 方式	行走角度 $\theta/(^\circ)$	预通气时间 $t_g/s$	滞后气时间 $t_d/s$
6	脉冲	9	跳变	0.1	10	175	4	反	恒速	375	3	8

表 2 不同位置焊接参数  
Table 2 Parameters for different welding position

分段位置	焊接参数					
	分段角度 $\varphi/(^\circ)$	峰值电流 $I_p/A$	基值电流 $I_b/A$	峰值时间 $t_p/ms$	基值时间 $t_b/ms$	焊接速度 $v/(mm \cdot min^{-1})$
起始点	210	215	70	370	130	90
分段点一	240	200	70	350	150	90
分段点二	300	200	70	350	150	90
分段点三	60	200	200	350	150	100
分段点四	120	195	70	350	150	110
分段点五	180	190	200	350	150	90

4 焊接结果与分析

在焊接速度一定的情况下焊缝成形与熔池的受力状态和电流的大小有关, 低碳钢管的焊缝成形貌如图 3 所示.

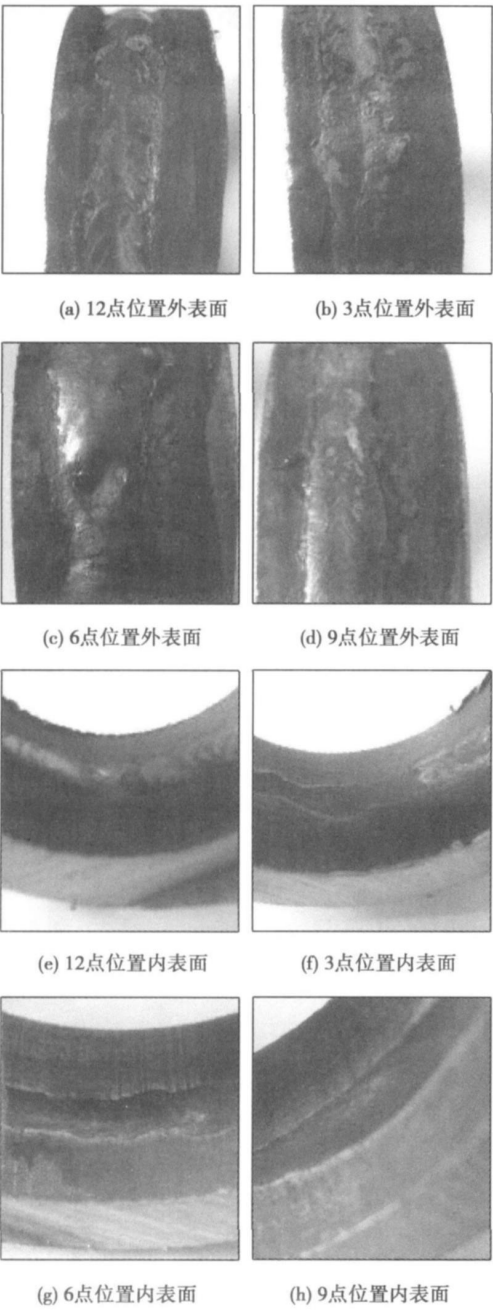


图 3 低碳钢管焊缝成形形貌  
Fig 3 Web formation of mild steel tube

12点位置的焊缝外表面出现凹陷, 焊缝背面出现凸起. 这是因为在上表面张力  $\sigma_1$  的作用下, 与  $F_{arc}$   $F_e$   $G_s$  的作用方向相同, 形成合力, 冲击熔池底

部. 此时熔池流体流动方向从四周指向中心, 形成向内对流的涡流, 增加了焊缝的熔深, 使得焊缝外表面出现凹陷, 焊缝背面出现凸起.

3点位置的焊缝内外表面成形良好, 属于易焊位置. 这是因为在垂直方向上  $G_s$  与管壁的反作用力  $N$  和  $F_b$  相平衡, 焊缝成形主要受  $F_{ac}$  和  $F_e$  以及熔池的表面张力  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$  的共同作用, 在活性剂作用下熔池外表面张力的方向从熔池四周指向中心. 焊缝成形很好, 焊缝的外表面呈指状焊缝, 内表面比较平整.

6点位置焊缝外表面略有凸起, 内表面略有凹陷. 与 12点位置焊缝成形正好相反, 这是因为熔池所受的重力  $G_s$  方向向下, 不利于熔深的增加, 但是在活性剂的作用下可以克服重力的影响, 保持熔透. 当熔池的体积大时, 重力作用明显, 则焊缝外表面凸起, 内表面凹陷, 熔池的体积较大时会使熔化的液态金属与钨极相接触, 使焊接不能正常进行. 所以在仰焊位置控制焊接电流的大小很重要, 一般是在刚好熔透的情况下选择最小的电流和最快的焊接速度, 必要时增加保护气体的流量, 这样能更好的托住熔池, 有利于焊缝成形.

9点位置时焊缝外表面凸起, 内表面凹陷. 与 3点位置相比较, 熔池的受力状态基本相同, 但是焊缝成形不同, 这是因为在上坡焊时, 熔化的液态金属的流淌方向与电极行走方向相反, 液态金属的流向也向下, 使焊接时的液态金属不能很快凝固, 易造成焊接缺陷. 焊接此段时, 选择比其它区域都小的焊接电流保证焊缝成形.

综上所述, 在涂敷活性剂的条件下, 液态金属熔池的受力状况与未加活性剂时相比会发生变化, 外表面张力  $\sigma_1$  的方向从熔池四周指向中心, 这样会使被电弧加热的液态金属向下流动, 熔化焊件母材的金属, 使熔深增加. 内表面张力  $\sigma_2$  的方向与  $\sigma_1$  的方向相反, 由中心指向四周, 这样有利于拖住熔化的液态金属, 不至使焊缝背面的余高太高, 促进焊件背面成形. 其它力的大小和方向均不会因活性剂的加入而发生改变.

5 结 论

- (1) 活性剂对熔池受力和熔池流体流动方向产生影响. 当焊枪处于时钟 12 点位置时,  $F_{arc}$   $F_e$  与  $G_s$  的作用方向相同, 上表面张力  $\sigma_1$  的方向从熔池四周指向中心, 形成冲击熔池底部的合力.
- (2) 焊接不同位置时采用不同的焊接参数, 获得良好的焊缝成形.

(3)对 6 mm 厚的低碳钢管道不开坡口,使用活性剂后可以一次焊透,并且单面焊接双面成形.

参考文献:

[ 1 ] 石 凯, 奚运涛, 周 勇, 等. 小口径钢管全位置脉冲 TIG 焊的成形控制及组织调控 [ J ]. 焊管, 2002 27(1): 21—24.  
Shi Kai, Xi Yuntao, Zhou Yong et al. Forming control & adjustment of full circumference length pulse TIG weld for small diameter pipe [ J ]. Welded Pipe and Tube 2002 27(1): 21—24

[ 2 ] 刘秀春, 亓安芳, 李忠杰. 全位置 TIG 对接焊机工艺试验研究 [ J ]. 锅炉技术, 2006 37(5): 52—55.  
Liu Xiuchun, Qi Anfang, Li Zhongjie. Process test study of automatic TIG orbital welding [ J ]. Boiler Technology 2006 37(5): 52—55

[ 3 ] 陈裕川. 锅炉、压力容器和管道焊接技术的新发展 [ J ]. 现代焊接, 2006(3): 45—48  
Chen Yuchuan. The Development of Welding technology for boiler pressure vessel and pipeline [ J ]. Modern Welding Technology 2006(3): 45—48

[ 4 ] 张瑞华, 樊 丁, 余淑荣. 低碳钢 A-TIG 焊的活性剂研制 [ J ]. 焊接学报, 2003 24(2): 16—18.  
Zhang Ruihua, Fan Ding, Yu Shurong. Study activating flux for mild steel [ J ]. Transactions of the China Welding Institution 2003 24(2): 16—18

[ 5 ] 张瑞华, 樊 丁. 低碳钢 A-TIG 焊的活性剂的焊接性研究 [ J ]. 焊接学报, 2003 24(1): 85—87.  
Zhang Ruihua, Fan Ding. Study on weldability of A-TIG welding for mild steel [ J ]. Transactions of the China Welding Institution

2003 24(1): 85—87.

[ 6 ] Fan Ding, Zhang Ruihua. Effect of flux on A-TIG welding of mild steel [ J ]. Transactions of JWRI 2001 30(1): 35—40.

[ 7 ] Zhang Ruihua, Fan Ding. Numerical simulation of effects of activating flux on flow patterns and weld penetration in A-TIG welding [ J ]. Science and Technology of welding and Joining 2007 12(1): 15—23

[ 8 ] Zhang Ruihua, Fan Ding. Electron beam welding with activating flux [ J ]. Transactions of JWRI 2006 35(2): 19—22

[ 9 ] 张瑞华, 尹 燕, 樊 丁. A-TIG 焊熔深增加机理的数值模拟研究 [ J ]. 机械工程学报, 2008 44(5): 176—182  
Zhang Ruihua, Yin Yan, Fan Ding. Numerical simulation of the mechanism for penetration increasing of A-TIG welding [ J ]. Journal of Mechanical Engineering 2008 44(5): 176—182

[ 10 ] 张瑞华, 尹 燕, 水谷正海, 等. A-TIG 焊接熔池行为的观察 [ J ]. 机械工程学报, 2009 45(3): 115—118  
Zhang Ruihua, Yin Yan, Mizitani et al. Observations of molten pool behavior during A-TIG welding [ J ]. Journal of Mechanical Engineering 2009 45(3): 115—118.

[ 11 ] 萨维茨基. 管道接头全位置活性焊剂焊接技术 [ J ]. 航空制造技术, 2006(7): 83—85  
Saweiciji. A All-Position welding technology for tube joint with active flux [ J ]. Aeronautical Manufacturing Technology 2006(7): 83—85

[ 12 ] 赵鹏成. 全熔透 TIG 焊接熔池形态瞬时行为的数值模拟 [ D ]. 济南: 山东大学, 2003

作者简介: 张瑞华, 男, 1970 年出生, 博士, 教授. 主要从事活性焊接法、焊接过程数值模拟和激光加工等研究工作. 发表论文 50 余篇.  
Email: zrh@lut.cn

[ 上接第 12 页 ]  
了一种新的途径.

(3)采用文中研究的工艺制备出了实际模具, 其尺寸精度和性能均能够满足生产要求.

参考文献:

[ 1 ] Grant P S, Cantor B. Forming model by spraying metal [ J ]. Modern Plastics 2001(10): 1940—1944.

[ 2 ] Eric A R, Joseph M, Dennis R A. A method of producing tools and dies European 0542820 [ P ]. 1994—12—8

[ 3 ] Chalmers E R. Rapid tool technology from ford country [ J ]. Manufacturing Engineering 2001 127(5): 36—41

[ 4 ] Collins D A, Nicholson J M, Szuba J A, et al. Method of making a spray formed rapid tool. United States 6513567 [ P ]. 2003—4—2

[ 5 ] Grant P S, Duncan S R, Roche A. Scientific, technological and economic aspects of rapid tooling by electric arc spray forming [ J ]. Thermal Spray Technology 2006 15(4): 796—801.

[ 6 ] 田蔚著. 材料物理性能 [ M ]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001

作者简介: 李德元, 男, 1959 年出生, 博士, 教授, 博士研究生导师. 主要从事焊接工艺与设备、表面强化技术方面的科研和教学工作. 发表论文 70 余篇.  
Email: dny1962@sina.com

## MAIN TOPICS, ABSTRACTS & KEY WORDS

Mechanical properties and laser welding process of B170P1 multi-gauge high strength steel CHEN Wei<sup>1</sup>, CHEN Kangmin<sup>2</sup>, XUE Lei<sup>1</sup>, YU Hailiang<sup>3</sup>, CAI Yan<sup>3</sup> (1. School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu, China; 2. School of Material Science and Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China; 3. Shanghai Key Laboratory of Materials Laser Processing and Modification, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China). p 1—4

**Abstract** Two types of B170P1 high-strength steel with thickness of 1.0 mm and 1.5 mm were welded with different laser welding process parameters. Welded joints were tested by metallographic examination and hardness measurement. The microstructure characteristics of the weld, base metal and heat-affected zone were analyzed. The mechanical properties of specimens welded under different laser welding parameters were investigated by tensile test. The results show that the amount of granular bainite in the weld increases with the increasing of welding power, and so the specimens have lower plasticity and ductility. Most of the grain boundary ferrite is stripy when the welding speed is large, otherwise most of the grain boundary ferrite is massive. When heat input is low, the size of grain increases quickly with the increasing of heat input. The increasing of grain is controlled by adjusting heat input.

**Key words** high-strength steel; laser welding; uniaxial tension; microstructure

Influence of cell segregation inclusion of alloying elements on initiation of hydrogen blistering in heat-affected zone of acicular ferrite steels ZHOU Chengshuang<sup>1</sup>, ZHENG Shuqi<sup>1</sup>, CHEN Changfeng<sup>2</sup>, CHEN Song<sup>2</sup> (1. Mechanical and Electrical Engineering Faculty, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Engineering Construction General Company of ZPEB SINOPEC, Puyang 457001, Henan, China). p 5—8

**Abstract** After hydrogen-induced cracking test, many hydrogen blisters appeared in the heat-affected zone of the L360MCS acicular ferrite steels. The caps of the hydrogen blisters were torn off by sticking a layer of high silver brazing alloy and extending. Then the fracture surfaces of the blisters were analyzed by SEM and EDS. The cell segregation inclusion of alloying elements containing Ca and Al sulfides and oxides were observed in most of the initiating zones of the blisters. The results show that internal stress and increasing vacancy concentration are the main reason of forming void in the inclusion zone. The key reason how high hydrogen pressure forms is that the hydrogen atom concentration in the void is lower than that in the basal body due to combination from hydrogen atoms in the void.

**Key words** inclusion; heat-affected zone; L360MCS steel; hydrogen blistering

Rapid manufacture method of steel-base mould based on arc spraying LI Deyuan<sup>1</sup>, ZHANG Hongbing<sup>1</sup>, HAN Hailing<sup>1</sup>, ZHANG Zhongli<sup>2</sup> (School of Material Science and Engineering,

Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China). p 9—12, 16

**Abstract** By spraying gradually on the 3D rapid prototype model, a steel-base stretch mould with certain internal size and external shape was formed. As prepared by high strength steel wire, the mould has long life-time enough to satisfy the requirement of mould. By choosing proper spraying wire and controlling the cooling rate, martensite microstructure can be formed in the spraying coatings, and it can provide enough hardness, wear resistant and cracking resistance properties. In order to guarantee the size precision during the mould manufacture, the finite element analysis simulation was introduced to calculate the temperature field and stress field of the deposited layer. The technology has been used to actual stretch mould, which dimensional accuracy and mechanical properties can meet the requirements, and has been used in production.

**Key words** mould; arc spraying; rapid prototype; martensitic transformation; stress field

A-TIG welding in all-position welding for mild steel pipe

ZHANG Ruhua<sup>1</sup>, WANG Haitao<sup>1</sup>, WANG Rong<sup>2</sup>, PAN Qiangang<sup>3</sup> (1. State Key Laboratory of Gansu Advanced Non-ferrous Metal Materials, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 2. Suzhou Industrial Park A-hand Technology Co., Ltd., Suzhou 215021, Jiangsu, China; 3. Dong Fang Boiler Group Co., Ltd., Zigong 643001, Sichuan, China). p 13—16

**Abstract** A-TIG welding is a novel and efficient method of welding. It is characterised with higher penetration than ordinary TIG welding, less heat-affected zone, narrow weld and less amount of deformation. Besides, it has a high welding efficiency and so on. The application of A-TIG welding in all-position welding for the mild steel pipe was studied. After the activating fluxes was deposited on the metal surface by a brusher before welding, the forced state of the weld pool at different area of the pipe was analyzed during the weld process, and the regulation of welding with activating fluxes for tube was provided. All-position welding machine was used in pipe welding. The full penetration can be got in a single pass without groove preparation for the mild steel pipes of 6 mm thickness, compared with 2 mm in conventional TIG welding process. By this process, the application range of the all-position welding machine can be extended. The efficiency of pipe welding has been improved.

**Key words** A-TIG welding; pipe; all-position welding

Web seam tracking with fuzzy sliding mode controller in high-pressure water environment LI Zhigang<sup>1</sup>, ZHANG Hua<sup>1</sup>, JIA Jianping<sup>2</sup>, XIONG Yong<sup>2</sup> (1. Key Laboratory of Ministry of Education for Conveyance and Equipment, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2. Institute of Mechatronics Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China). p 17—20, 24