

双丝脉冲 MAG焊两种电流相位关系的焊接行为分析

文元美^{1,2}, 黄石生¹, 吴开源¹, 缪正平¹

(1 华南理工大学 机械工程学院, 广州 510640 2 广东工业大学 信息工程学院, 广州 510006)

摘 要: 基于高速摄像和电信号分析系统, 采集了一定焊接工艺参数下高速脉冲双丝 MAG焊接过程的电信号, 并对焊接过程中的熔滴过渡方式以及电弧形态进行了高速摄像观察。结果表明, 前丝、后丝脉冲电流交替变化时, 前丝、后丝电弧形态分别为单丝工作时的钟罩形, 显示前后丝电弧间基本没有影响; 当前丝、后丝脉冲电流同步变化时, 前后丝电弧合并为一个寿桃形电弧, 分析指出前后丝电弧形态彼此间的吸引力是造成电弧形态合并的根本原因。不同脉冲电流频率下的焊缝显示, 双丝脉冲 MAG焊接过程中, 前丝、后丝脉冲电流同步变化时, 焊缝成形较好, 但焊接过程声音较大并伴随较大烟尘; 前丝、后丝脉冲电流交替变化时, 焊缝成形一般, 焊接过程声音柔和且产生较少烟尘。

关键词: 脉冲 MAG焊; 双丝; 熔滴过渡; 电弧形态

中图分类号: TG115.28 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2010)01-0059-04



文元美

0 序 言

高速双丝脉冲 MAG焊接是一种高效的焊接方法。1955年就有人开始研究双电弧气体保护焊技术^[1], 双丝 MAG焊接技术在理论上和实践上也取得了一批成果^[2-5], 但是高速双丝脉冲 MAG焊接过程, 随着焊接速度的提高会产生一些与常规速度焊接不同的问题。主要表现为焊缝成形易变差, 易出现焊道咬边的现象, 速度进一步提高时会产生“驼峰”焊道。这主要是因为在高速焊接时, 熔池不能及时冷却, 熔池明显拉长。当熔池的拉长达到一定程度时, 会发生液态金属的失稳和颈缩现象, 造成驼峰焊道^[6]。同时双电弧间的电磁场相互干扰, 造成其电弧的稳定性甚至比单电弧焊接还差。为避免双电弧脉冲焊接可能出现的缺陷并最大限度地发挥双电弧焊接的优点, 对高速双丝脉冲 MAG焊接过程的研究就成为一项紧迫的任务。

通过对自行研制的双丝焊接电源^[7]进行工艺试验, 采用高速摄像系统与小波分析系统^[8]采集后丝焊接电流、弧焊电压波形以及双丝电源焊接过程熔滴的过渡过程图片, 并利用示波器采集前丝以及后丝电流波形, 分析了双丝脉冲电流两种不同相位关系

对焊接过程熔滴过渡行为以及焊缝成形的影响。

1 试验方法

采用文献[8]所示熔滴过渡高速摄像与电信号测试分析系统。采用电源为试验室自行研制的 IG-BT脉冲双丝 MAG焊逆变电源。焊接工艺参数: 前丝、后丝脉冲电流相位关系为交替(图1a)或同步(图2a), 脉冲频率为 114 Hz 脉冲占空比为 43%, 前丝脉冲电流峰值 460 A 前丝基值电流为 60 A 后丝脉冲电流峰值 450 A 后丝基值电流为 60 A 前丝送丝速度为 7.44 m/min 后丝送丝速度为 7.2 m/min 保护气体为 80% Ar+20% O₂, 气体流量为 15 L/min 焊丝牌号 H08Mn₂Si 焊丝直径 1.2 mm 在板厚为 4 mm 的低碳钢板上进行堆焊试验, 焊接速度为 2.4 m/min。

图1与图2除前丝和后丝脉冲电流相位关系分别为同步与交替外, 其它工艺参数完全一样。熔滴过渡高速摄像拍摄速度为 1000 幅/min。

2 电弧形态的比较

前丝和后丝脉冲电流相位关系为交替时(图1a), 由高速摄像形貌可见, 图片 3703 号时, 后丝(左)逐渐熄弧并开始进行熔滴过渡, 前丝(右)燃

弧,图 1^g3705号图片为前丝继续燃弧、后丝以小滴进行射滴过渡,3707号图片为后丝开始燃弧而前丝进行射流过渡,到 3711号图片时,后丝又开始进行

射流过渡,3713号图片为后丝完全熄弧,开始新的焊接周期. 图片显示,熔滴过渡周期大约为 9 ms (3 703 ~3 711号),为一脉一滴过渡形式.

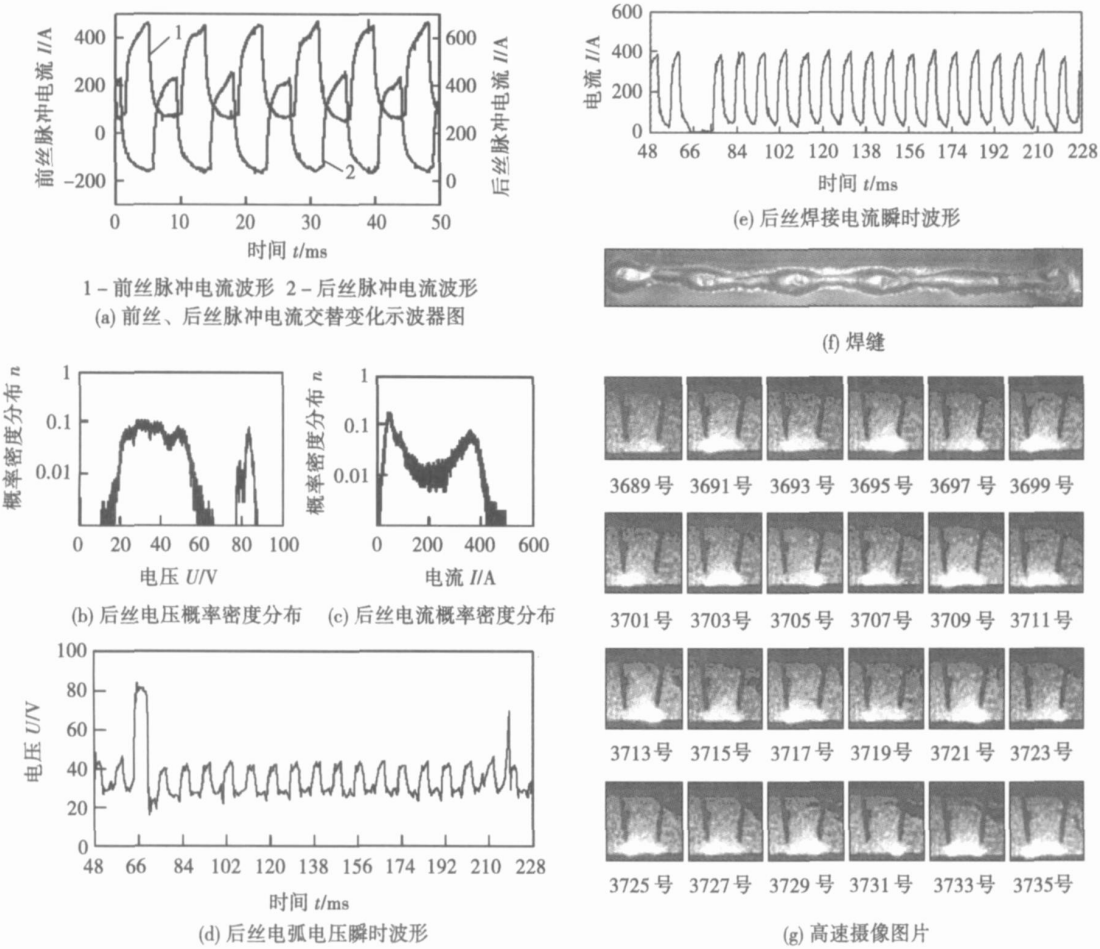


图 1 前丝、后丝脉冲电流交替变化时的电波形、焊缝与高速摄像图

Fig 1 Electrical waveform, weld appearance and high speed photographs under pulse currents of front wire and rear wire changing by turn

图 1 中前 (右) 丝、后 (左) 丝脉冲电流交替变化时,前后丝电弧也呈交替形式出现 (图 1^g), 3703 号、3705 号图片显示右丝因电流较大形成含有大量金属蒸气的闪亮区,电弧形状为钟罩形,3709 号图片显示右丝进行射流过渡. 3707 号图片显示,左丝在焊丝端头生成短的束状电弧,然后逐渐加粗并扩展成钟罩形电弧 (3709 号图片). 在 3711 号图片中,左丝端头高速喷射出一些细小的熔滴,构成了射流过渡模式. 一个完整脉冲周期的焊接电弧形态显示,前丝、后丝电弧相互影响较小,前丝、后丝电弧形态分别接近单丝脉冲焊接的电弧形态.

前丝和后丝脉冲电流相位关系为同步时 (图 2^a), 高速摄像图片 (图 2^g) 中的 1551 号图片显示前丝与后丝同时开始熄弧,并且后丝有尺寸小于

焊丝直径的熔滴脱落,因烟尘以及光路纹影的遮挡,前丝的过渡熔滴不可见; 1552 号图片显示左丝熔滴继续飞向熔池; 直到 1555 号图片时,前后焊丝同时燃弧,但电弧较暗; 1556 号图片显示前后焊丝电弧逐渐长大且被对方吸引,但仍呈现两个电弧形态; 而到 1557 号图片时前后丝电弧几乎合并为一个电弧,电弧高点位于两焊丝中间,呈现为寿桃形; 1558 号图片中电弧高点更进一步偏向前丝; 1559 号图片时前后丝电弧开始熄灭并伴随熔滴向熔池过渡. 图片显示,熔滴过渡周期大约为 9 ms (1551 ~1559 号图片),为一脉一滴过渡形式.

图 2^g 中前 (右) 丝、后 (左) 丝脉冲电流为同步变化,前后丝电弧也呈同步变化形式,从一个完整脉冲周期电弧形态的发展来看 (1551 ~1559 号图片),

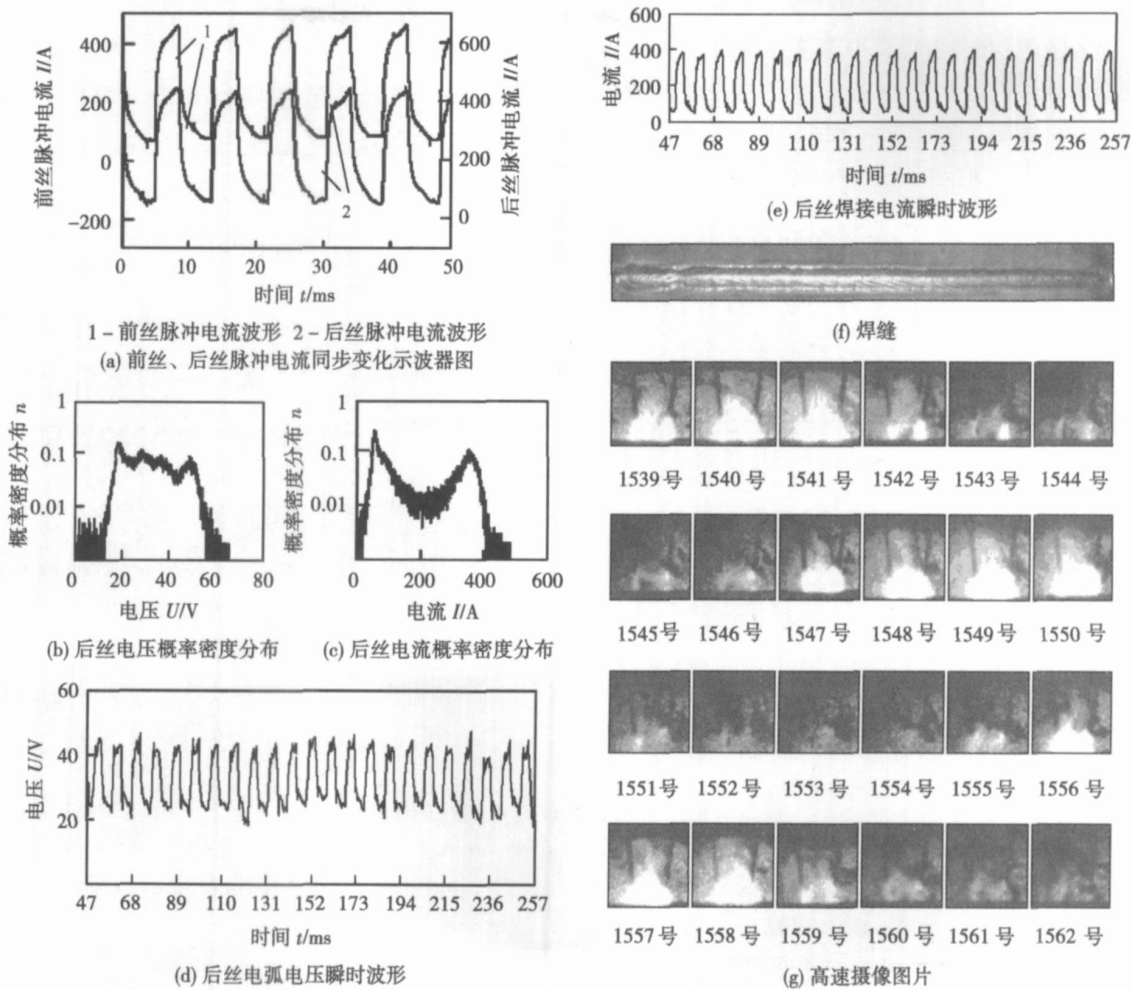


图 2 前丝、后丝脉冲电流同步变化时的电波形、焊缝与高速摄像图

Fig. 2 Electrical waveform, weld appearance and high speed photographs under pulse currents of front wire and rear wire changing in phase

因前后丝同时通以同方向脉冲电流,从而产生作用在各自电弧上的吸引力,可用下式计算^[9],即

$$F=k\frac{I_1I_2}{l} \tag{1}$$

式中: F 为单位长度导体上受力的大小; I_1 、 I_2 分别是两导体中通过的电流值; l 为两导体间的距离; $k=\mu/4\pi$, μ 为介质的磁导率。

前后丝同时燃弧,随着脉冲电流的加大,电弧逐渐长大,由式 (1) 可见,前、后丝脉冲电流 I_1 、 I_2 同时增加,则前后丝电弧间的吸引力 F 与 I_1 、 I_2 的乘积成正比增大,彼此电弧被吸引,最终合为一体,呈现寿桃形状。同时因电弧被拉长,焊丝端头较长部分同时被燃烧,较大的金属蒸气以及焊丝上的杂质燃烧造成较大烟尘。

3 成形的比较

前丝和后丝脉冲电流相位关系为交替变化时

(图 1 a), 焊接过程不太稳定, 出现了断弧现象, 但起弧较顺畅; 焊接过程中, 声音柔和且产生较小烟雾; 图 1 b 的后丝电压概率密度分布图中 85 V 左右出现的概率较大, 显示焊接过程出现了断弧现象; 图 2 c 的后丝电流概率密度分布图出现两个概率分布尖峰, 两尖峰分别对应后丝的基值电流与峰值电流; 图 1 d 的后丝脉冲电压、脉冲电流波形不太稳定, 电弧电压波形显示断弧明显 (66 ms 附近) 且有尖峰干扰 (215 ms 附近); 图 1 焊缝呈驼峰焊道。

前丝和后丝脉冲电流相位关系为同步变化时 (图 2 a), 焊接过程稳定, 无断弧、短路, 起弧比较顺畅; 焊接过程中, 声音较大并且伴随很大烟雾。图 2 b 的后丝电压概率密度分布图显示, 基本没出现断弧现象; 图 2 c 的后丝电流概率密度分布图出现两个概率分布尖峰, 两尖峰分别对应后丝的基值电流与峰值电流; 电压电流波形能直接反应焊接过程的稳定性, 图 2 d 的波形重复性好, 波形规则稳定。图 2 f 焊缝成形良好。

为探讨前丝和后丝脉冲电流交替相位以及同步相位对焊缝成形的影响，文中改变脉冲电流频率进行了试验。脉冲频率变化，其它参数均为试验条件中所用焊接参数。图 3 图 4 分别示出了在不同脉冲电流频率情况下，前丝、后丝脉冲电流相位关系为交替和同步时的焊缝。

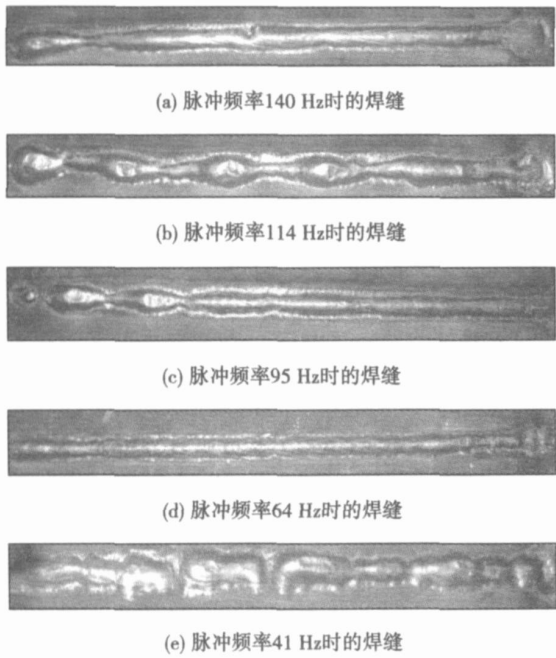


图 3 前、后丝脉冲电流交替变化时不同脉冲频率下的焊缝
Fig. 3 Weld appearance under different frequencies when the pulse currents of front wire and rear wire changing by turn

当脉冲电流频率为 140 Hz 时，前后丝脉冲电流同步变化时的焊缝比较均匀，成形较好。前后丝脉冲电流交替变化时，焊缝前端成形较差，后端成形较好，整条焊缝均匀性较差。当脉冲电流频率为 114 Hz 时，前后丝脉冲电流同步变化时的焊缝除焊接起始段出现瑕疵外，整条焊缝成形均匀，焊缝表面呈现波纹形状。前后丝脉冲电流交替变化时，焊缝为驼峰焊道。当脉冲电流频率为 95 Hz 时，前后丝脉冲电流同步变化时的焊缝成形均匀，焊缝表面呈现连续、规则的波纹形状。前后丝脉冲电流交替变化时，焊缝前端为驼峰焊道，后部成形较好。

当脉冲电流频率为 64 Hz 时，前后丝脉冲电流同步变化时的焊缝前端为少许驼峰，后部成形较好。前后丝脉冲电流交替变化时，焊缝成形均匀、良好。

当脉冲电流频率为 41 Hz 时，前后丝脉冲电流同步变化与前后丝脉冲电流交替变化时，焊缝成形差。

由图 3 与图 4 相应频率焊缝的对比可见，前丝、后丝脉冲电流相位关系为同步时的焊缝成形较好，

前丝、后丝脉冲电流相位关系为交替时成形一般。

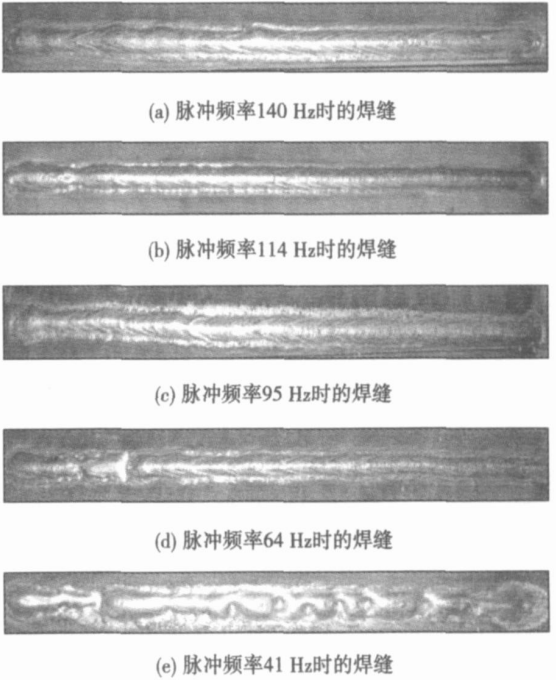


图 4 前、后丝脉冲电流同步变化时不同脉冲频率下的焊缝
Fig. 4 Weld appearance under different frequencies when the pulse currents of front wire and rear wire changing in phase

4 结 论

(1) 双丝脉冲 MAG 焊在文中试验条件下，前丝、后丝脉冲电流交替变化时，前丝、后丝电弧形态彼此间基本没有影响，分别呈现钟罩状；前丝、后丝脉冲电流同步变化时，前后丝电弧彼此吸引，合并成一个寿桃形电弧。

(2) 双丝脉冲 MAG 焊接过程中，前丝、后丝脉冲电流同步变化时，焊缝成形较好，但焊接过程声音较大并伴随较大烟尘；前丝、后丝脉冲电流交替变化时，焊缝成形一般，焊接过程声音柔和且产生较少烟尘。

参考文献:

[1] Voldin V S Sluchanko N A Automatic welding with two electrodes [J]. SvarProiz 1955 2(3): 23—26

[2] Tusek J Mathematical modeling of melting rate in twin wire welding [J]. Journal of Materials Processing Technology 2000 100 (7): 250—256

[3] Tusek J Narrow gap submerged arc welding with a multiple wire electrode [J]. Metalurgija 2002 41(2): 83—88

[4] 李幸呈, 李 桓, 梁秀娟, 等. 双丝脉冲 MIG 焊脉冲频率变化时的熔滴过渡特征 [J]. 焊接, 2006(11): 30—35.

5 结 论

(1)根据马鞍形焊缝的焊接工艺,提出了两轴协调的马鞍形自动焊机总体结构和工作原理,并建立了焊机整体机构、马鞍形焊缝的数学模型和数控插补控制算法。

(2)利用 MATLAB对数控算法进行了仿真,在给定插补步数的前提下,分析马鞍形自动焊机插补控制算法插补过程中产生弓高误差的原因,通过仿真证明了可以通过增加插补步数减小弓高误差,该算法可以保证焊缝拟合的准确性,而且焊接速度波动率小于 2 1%,满足自动焊接要求。

(3)焊接整体结构简单,采用两轴传动,大大简少了制造和维修成本。

参考文献:

[1] 段铁群, 孟凡荣, 石广远, 等. 基于 ADAMS接管马鞍形自动焊机运动仿真[J]. 焊接, 2008(11): 64—66
Duan Tiequn Meng Fanrong Shi Guangyuan Kinematic simulation on large cylinder saddle automatic welding machine base on ADAMS[J]. Welding & Joining 2008(11): 64—66

[上接第 62 页]

Li Xingcheng Li Huapang Liang Xijuan et al Features of droplet transfer with changing pulse frequency during double pulse MIG welding[J]. Welding & Joining 2006 50(11): 30—35.

[5] 曹梅青, 邹增大, 杜宝帅, 等. 双丝间接电弧氩弧焊的熔滴过渡[J]. 焊接学报, 2006 27(1): 45—48
Cao Meiqing Zou Zengda Du Baoshuai et al Metal transfer of twin wire indirect arc argon welding[J]. Transactions of the China Welding Institution 2006 27(1): 45—48

[6] 冯 雷, 陈树君, 殷树言. 高速焊接时焊缝咬边的形成机理[J]. 焊接学报, 1999 20(1): 16—21.
Feng Lei Chen Shujun Yin Shuyan Mechanism of undercut phenomenon in high speed welding[J]. Transactions of the China Welding Institution 1999 20(1): 16—21

[7] 吴开源, 黄石生, 蒙永民, 等. 脉冲 MIG 焊熔滴过渡中值波控制策略[J]. 焊接学报, 2004 25(4): 51—54.
Wu Kaiyuan Huang Shisheng Meng Yongmin et al Control

[2] 王宏峰. 一种相贯线的展开算法[J]. 电脑开发与应用, 2009(2): 59—62
Wang Hongfeng A spreading algorithm of an intersecting line[J]. Computer Development & Applications 2009(2): 59—62

[3] 霍孟友, 王新刚, 尹 萍. 自动焊接相贯线接缝的实时插补控制算法与仿真[J]. 焊接学报, 2006 27(11): 37—40.
Huo Mengyou Wang Xingang Yin Pin Real time interpolation algorithm and simulation of seam intersection line for automatic welding[J]. Transactions of the China Welding Institution 2006 27(11): 37—40

[4] 董为民, 高贯斌, 孙东明, 等. 插补算法误差及实时性研究[J]. 机械制造与研究, 2006(6): 18—21.
Dong Weimin Gao Guanbin Sun Dongming Study on the errors and real-time of interpolation methods[J]. Machine Building & Automation 2006(6): 18—21

[5] Edward B Magrab MATLAB原理与工程应用[M]. 高会生译. 北京: 电子工业出版社, 2002

[6] 叶长龙, 廉立新, 赵永辉. 焊接机器人焊接相贯线曲线仿真[J]. 沈阳工业学报, 2003 25(10): 426—429.
Ye Changlong Lian Lixin Zhao Yonghui Simulation of welding intersecting cylinders line for welding robot[J]. Journal of Shenyang University of Technology 2003 25(10): 426—429

作者简介: 段铁群 男, 1960 年出生, 教授、硕士研究生导师. 现从事机械设计及其理论、机电一体化研究. 发表论文 40 余篇.
Email: tqdian@126.com

strategy of waveform with median phase in droplet transfer for pulsed MIG welding[J]. Transactions of the China Welding Institution 2004 25(4): 51—54

[8] 黄石生, 文元美, 薛家祥, 等. 弧焊熔滴过渡的高速摄像与电信号测试分析[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2008 36(4): 1—5.
Huang Shisheng Wen Yuamei Xue Jiaxiang et al Test and Analysis of high-speed photography and electric signals of droplet transfer in arc welding[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition) 2008 36(4): 1—5

[9] 殷树言. 气体保护焊工艺基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007

作者简介: 文元美 女, 1968 年出生, 工学博士, 副教授. 目前研究方向为焊接电弧物理、焊接过程质量控制. 出版著作 1 部, 发表论文 20 余篇.
Email: wen-yuamei@163.com

Abstract Experimental study and thermal elastic-plastic finite element method (FEM) of plate surfacing were carried out for 304L stainless steel and rationality of assumed material properties under high temperature in calculation was verified by consistency of experimental results and numerical simulation results. On this basis, thermal elastic-plastic FEM was applied to welding of dome and cylinder shell of independent fluid tank of 304L stainless steel LNG carrier and structural welding deformation was predicted successfully.

Key words 304L stainless steel material properties under high temperature, thermal elastic-plastic FEM, welding deformation, large complicated structure

Welding behavior of two current phase relations for twin wire pulsed MAG welding WEN Yuamei², HUANG Shisheng, WU Kaiyuan, LAO Zhengping (1 School of Mechanical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2 Faculty of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China), P 59—62 66

Abstract Based on the high-speed video system with electrical signals analyzer in synchronous, the electrical signals and the photographs of molten droplet under certain welding parameters were collected, the electrical arc shape and droplet transfer pattern of welding process in twin wire pulsed MAG welding were studied. It is observed that when the pulse current exerted on the front wire and the rear wire by turns, the shape of arcs presents the clock cover form, and has no influence on each other. When the pulse current exerted on the front wire and the rear wire in phase, the arcs attract each other and the arc is incorporated as a peach. The weld appearance of the synchronous pulse current is good and the concomitant is great noise and smog. The weld appearance of the alternating pulse current is tolerable.

Key words pulsed MAG welding, twin wire, droplet transfer, shape of arc

Interpolation algorithm and simulation of auto-welding saddle-shaped nozzle of heavy pressure vessels DUAN Tiequn, SHI Guangyuan, YU Dan, YANG Kefei (1 Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China; 2 Harbin Welding Institute, Harbin 150080, China), P 63—66

Abstract According to the welding processes of nozzle of heavy pressure vessels, this paper introduced the structure and principle of the automatic welding machine and also presented the mathematical model and simplified interpolation algorithm which used two collaborative axis to form a space fitting saddle-shaped welding head. The simulation results indicate that the two-axis interpolation algorithm can meet the requirements of the automatic welding.

Key words heavy pressure vessels, automatic welding machine, interpolation algorithm, simulation

Microstructure and mechanical property of Ag-Cu-Ti fillers added with rare earth lanthanum YANG Changyong, XU Jinhua, DING Wenfeng, FU Yucan, CHEN Zhenzhen (Jiangsu Key Laboratory of Precision and Micromanufacturing Technology, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China), P 67—70 74

Abstract The effect of lanthanum (La) on the microstructure, microhardness of Ag-Cu-Ti filler applied in brazed CBN tools and the shear strength of brazed joint between Ag-Cu-Ti filler and Q45% C steel substrate were researched. The results indicated that the addition of La could accelerate the alloying of filler alloy, improve the microhardness of Ag-Cu-Ti filler alloy and shear strength of brazed joint between Ag-Cu-Ti filler and Q45% C steel substrate. The content of La added in Ag-Cu-Ti alloy filler should be less than 0.5 wt%.

Key words rare earth La, Ag-Cu-Ti filler, microstructure, mechanical property

Effects of applied longitudinal magnetic field on plasma arc hardfacing microstructure and property LIU Zhengjun, SONG Xingqi, SHAO Dawei, ZHAO Qian, ZHANG Shixi, CHENG Minghua (Materials Science and Engineering Academy, Shenyang University of Technology, Shenyang 110023, China), P 71—74

Abstract To control the shape and distribution of hard phase, longitudinal magnetic field was applied during plasma hardfacing of Fe-C alloy. The hardness, wear, microstructure and X-ray diffraction analysis of the hardfacing layer were tested as well as the structure and property of the hardfacing layer of the powder. The results showed that the layer had higher hardness and better wear with magnetic field than the layer formed without magnetic field. The properties of hardfacing layer were optimum when the magnetic field current was 3 A and the microstructures of alloy hardfacing layer obtained ideal hard phase such as Cr_7C_3 , Cr_23C_6 and solid solution α and γ were refined sufficiently.

Key words plasma arc surfacing welding, magnetic field, hard phase

Performance of DC plasma arc in external transverse alternating magnetic field MENG Jianbing, XU Wenji, WANG Xu Yue, SONG Wenqing (Key Laboratory for Precision and Non-traditional Machining Technology of Ministry of Education, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning, China), P 75—79

Abstract Two mathematical models are developed to describe the oscillating amplitude of the plasma arc along the metal surface and the heat flow density distribution of plasma arc on the metal surface respectively. The behavior of plasma arc jet under an external transverse sinusoidal alternating magnetic field imposed perpendicular to the plasma current is analyzed theoretically and the effect of process parameters such as gas flow rate, arc current, magnetic flow density and the distance from the nozzle outlet to the anode workpiece on the form and distribution of