

点焊焊接电流波形及其 FFT 幅频图的液晶显示

张 勇， 马铁军， 贾静波， 杨思乾*
(西北工业大学 陕西省摩擦焊接重点实验室, 西安 710072)



张 勇

摘 要: 基于 TMS320LF2407A 型 DSP(数字信号处理器)和 TFT6448b 型液晶屏控制器, 采用间接控制的接口方式, 实现了 DSP 和液晶屏控制器之间数据交换的速度匹配; 系统软件采用 C 语言程序调用汇编语言编写的 FFT 程序包, 确保了 FFT 算法的执行速度. 在交流点焊机进行了低碳钢点焊的上机检测试验. 结果表明, 研制的液晶显示系统可以实现点焊电流信号采集、快速傅立叶变换、波形及频谱图的实时显示, 证明了系统软、硬件设计的有效性.

关键词: 点焊; 数字信号处理器; 快速离散傅立叶变换; 液晶显示

中图分类号: TN27 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2010)01-0097-04

0 序 言

点焊焊接电流波形中包含了熔核形成及熔核大小的相关信息, 但这些信息是弱小、不明显的. 因此, 若通过直接检测焊接电流有效值或观察波形来判别熔核大小, 存在较大的局限性. 已有的研究表明: 将不锈钢及高温合金的点焊焊接电流波形进行 FFT(快速离散傅立叶变换)后, 发现即使存在不同程度的分流, 其焊接电流波形的谱线幅值, 与熔核直径之间有明显的对应关系^[1 2].

上述研究工作只是在离线情况下完成的, 即在点焊过程中, 先用记忆示波器将焊接电流波形记录下来, 然后再将波形输入计算机, 调用 MATLAB 软件对波形作 FFT 为了在线情况下对点焊电流波形进行频谱分析, 以期实时检测熔核直径的大小, 实现点焊质量无损检测的目的, 研制了一套点焊焊接电流波形及其 FFT 幅频图的实时液晶显示系统.

1 电流波形及其 FFT 幅频图液晶显示系统硬件

1.1 硬件系统框图

电流波形及其 FFT 幅频图液晶显示系统框图如图 1 所示. 从焊接变压器 HB 原边, 用电流互感器 TA 取出焊接电流信号. 电流信号经过信号调理电

路放大、线性隔离后, 输入 DSP(数字信号处理器)小系统进行采样及 FFT 获得的电流信号幅频值输入液晶显示系统显示. 由于 DSP 系统进行 FFT 运算的速度很快, 故当一个点焊循环结束后, 焊接电流波形的频谱图即可显示在液晶屏上.

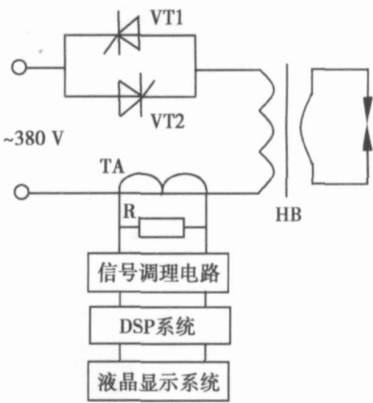


图 1 液晶显示系统框图
Fig 1 Block diagram of LCD system

1.2 DSP 小系统

文中选用的数字信号处理器 DSP 小系统主要由 TMS320LF2407A 型 DSP 芯片、时钟电路、供电及上电复位电路、JTAG 仿真器及数据存储器 RAM 组成. 其电路框图如图 2 所示.

DSP 芯片采用高性能静态 CMOS 技术, 使得供电电压降为 3.3 V 减小了芯片的功耗. 片内有 32 K 字节的 Flash 程序存储器, 2.5 K 字节的 SRAM 数据、程序及 I/O 口均能独立寻址 64 K^[3].

收稿日期: 2008-09-15
* 参加此项研究工作的还有谢红霞

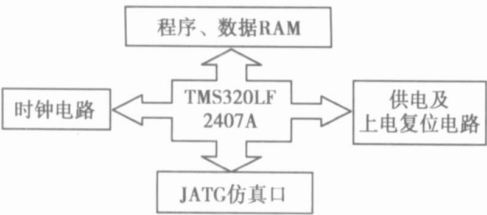


图 2 DSP小系统电路框图

Fig. 2 Circuit schematics of DSP system

基于 PLL(内部振荡器及锁相环)的时钟电路由内部振荡器及锁相环两部分组成,为其内部及外部电路提供所需的时钟信号。PLL用来作倍频及分频晶振输入,通过修改系统状态及控制寄存器(SCR1)中的 CLKPSn位,可选择不同的 CPU时钟频率 CLKOUT 文中系统选择的时钟频率为 40 MHz。

JTAG为 DSP提供了仿真通讯和内部 Flash烧写的标准接口。

1.3 液晶显示系统

所用的液晶显示屏为 640×480 点阵的 LQ104VIDG52型真彩屏(TFT屏),显示系统的电路框图如图 3所示。直流 +5 V电源为逆变器与液晶控制板供电。其中,逆变器将 +5VDC转换成 +12VDC电源,为 2×CCFT(双背灯管)供电。控制板将数据与控制信号写入液晶屏,采用的 TFT6448b液晶屏控制器是专门针对分辨率为 640×480的真彩屏而设计的液晶显示控制模块,为 16 引脚双列直插式芯片,拥有数据总线、寄存器地址选择线、片选和读写信号线。其中数据总线为一个 8 位的高速总线接口,可直接与单片机或 DSP相连(+5 V+3.3 V兼容)直接输入 X、Y坐标值,无须计算地址。

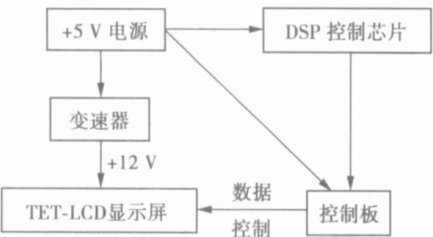


图 3 显示系统的电路框图

Fig. 3 Circuit schematics of displayer system

1.4 液晶控制板与 DSP接口

为了匹配 DSP与液晶控制板数据交换的速度,两者之间的接口采用了间接控制方式,如图 4所示。IOPE0~IOPE6与 IOPE7为从低位到高位 的 8 位数据

据总线。控制总线的分配:IOPC1为控制板的片选信号,IOPB7为写信号 /WR,IOPC0为读信号 /RD。功能寄存器地址 A0、A1 分别由 IOPC3 及 IOPC5 确定。

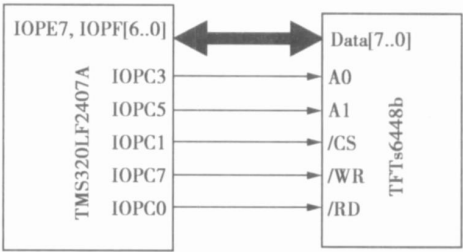


图 4 DSP芯片与液晶控制板的接口

Fig. 4 Port between DSP and liquid crystal controller

TFT6448b的控制板有四个寄存器,分别为列地址寄存器 X、行地址寄存器 Y、状态控制寄存器 CMD及显示数据寄存器 DAT。显示过程是先写控制字,再写地址,最后写数据。根据图 4的接口设计,控制板各个功能寄存器的地址可唯一确定,如表 1所示。

列地址寄存器 X为 16 位寄存器。对于 640×480点阵的显示屏,列地址的取值范围为 0~639,故只需 10 位即可。写入寄存器时,先写低 8 位,后写高 2 位。行地址寄存器 Y与列地址寄存器相类似,只是取值范围为 0~479,占 9 位,同样先送低 8 位,后送高 1 位。

表 1 控制板寄存器地址				
Table 1 Registers' addresses of controller				
地址/功能	X	Y	CMD	DAT
A1 / DPC5	0	0	1	1
A0 / DPC3	0	1	0	1
/C/ DPC1	0	0	0	0
/WR/ IOPB7	—	—	—	—
/RD/ IOPC0	—	—	—	—

2 系统软件

2.1 系统软件控制流程

系统软件的控制流程如图 5 所示。系统上电后,首先进行初始化,然后等待焊接启动信号。当接收到焊接启动信号后,启动 ADC采样焊接电流波形,存储采样数据,进行焊接电流波形的液晶显示。当焊接通电过程结束后,再进行波形的 FFT处理。

并在液晶屏上显示频谱图. 显示过程延时 5~10 s, 延时时间到再返回程序的起点.

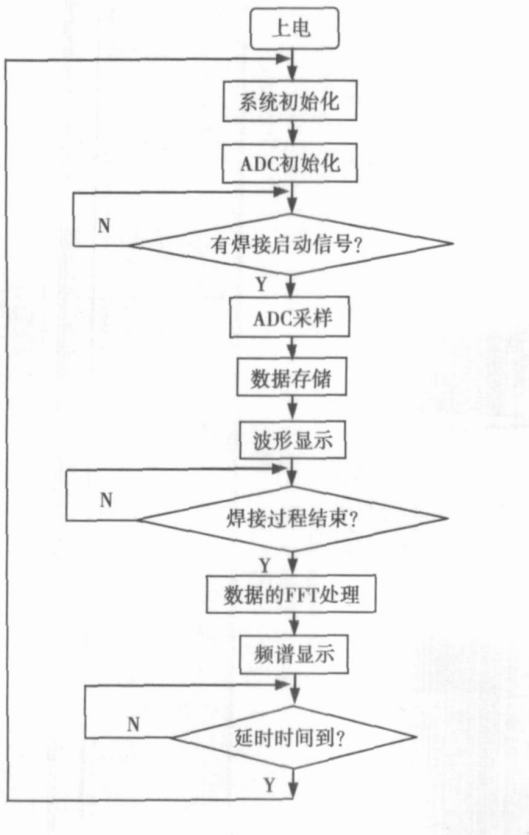


图 5 系统软件控制流程
Fig. 5 Flow of system program

2.2 液晶显示子程序

液晶显示流程为先单色充屏, 然后进行波形显示. 每个阶段均是先写控制字, 再写坐标值, 最后写数据. 单色充屏软件流程及波形显示软件流程分别如图 6 图 7 所示. 写控制字 CMD 子程序、写行列坐标 x、y 子程序及写 DAT 子程序, 分别完成向控制板写控制字、坐标及数据的任务; DisPlace 子程序将采样的数字量, 按一定的线性关系转换成合适的液晶显示点坐标, 控制波形在液晶屏上的 y 向范围; Delay 子程序完成延时功能, 实现控制板书写时的时序要求; Display 子程序实现上述各个子程序的调用, 完成显示.

2.3 FFT子程序

FFT子程序主要采用了 TI 公司提供的 FFT 程序软件包. 该程序采用汇编语言编写, 具有定时性好、执行速度快的显著特点, 而且可以方便地被 C 语言程序调用.

下列程序可以实现用 C 语言调用 FFT 子程序.
#define TWON512

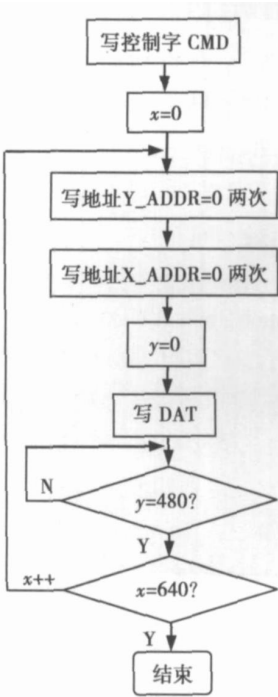


图 6 单色充屏软件流程
Fig. 6 Program flow of single colored screen

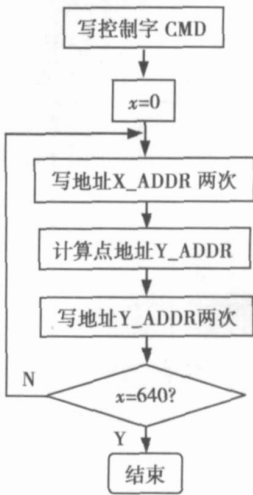


图 7 波形显示软件流程
Fig. 7 Program flow of waveform display

```
#pragma DATA= SECTION( ipcb " FFTipcb" );
FFT512R fft= FFT512R-DEFAULTS;
int ipcb[ TWON+2];
void FFT()
{
    unsigned int i;
    fft ipcbptr= ipcb // calc()函数处理数据的起始位置
    fft magptr= ipcb //mag()函数后放置幅值平方数据//的起始位置, 两者放置的位置一
```

```
样
fft in1( ); //复制负数 FFT所需要的旋转因子 TF
fft in2( ); //复制劈分函数 split所需的旋转因子
for i=0 i< TWON; i++)
{
    ipd[i] = samp[i]; //数据传送, Q15格式
}
FFIR= brev( ipd ipd TWON/2); //倒位序处理
fft calc(& ff); //调用 256点负数 FFT计算
fft split(& ff); //劈分 256点附属结果,得实数
//512点 FFT计算的真正结果
fft mag(& ff); //得到幅值平方, Q14格式
}
```

3 系统上机检测试验

3.1 试验方法

将系统按图 1 所示接入 NA-200-4 型点焊机初级回路. 按表 2 所示的工艺参数对 1+1 mm 低碳钢进行点焊试验, 测量出各点的熔核直径.

表 2 焊接工艺参数

Table 2 Process parameters of spot welding

焊点号	焊接电流 I/kA	通电时间 t/(周波)	爬坡时间 v(周波)	焊接压力 F/N	电极端面直径 d/mm
1	10.7	8	3	3 800	6
2	11.6	8	3	3 800	6
3	12.6	8	3	3 800	6

在进行点焊的同时, 用研制的液晶显示系统记录下焊接电流波形, 并将电流波形进行 FFT 且将幅频图在液晶屏上显示出来.

3.2 试验结果与分析

经测量, 表 2 中对应 1、2、3 焊点的熔核直径分别为 3.7、4.2 和 5.1 mm.

在液晶屏上显示的三个焊点电流波形如图 8 所示, 图中的采样频率为 2 kHz. 数据分析及显示长度 10 周波. FFT 后的幅频图如图 9 所示, 从图 9 可见, 低碳钢的焊接电流频谱图在 50、150 与 250 Hz 处有较大幅值.

熔核直径与频谱幅值的曲线关系如图 10 所示, 可以看出频谱幅值与熔核直径之间接近线性关系. 但 50 Hz 直线斜率较小, 即熔核直径引起的幅值变化不敏感, 若将其与 48 Hz 的幅值变化相比较, 就可以发现熔核直径引起的频谱幅值变化在 48 Hz 处更加敏感. 由此可见, 不同频率的谱线幅值对熔核直

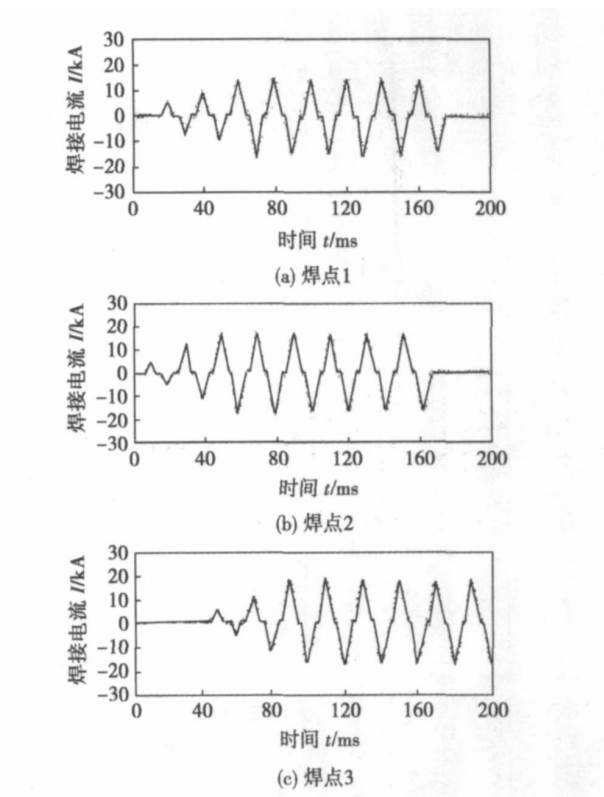
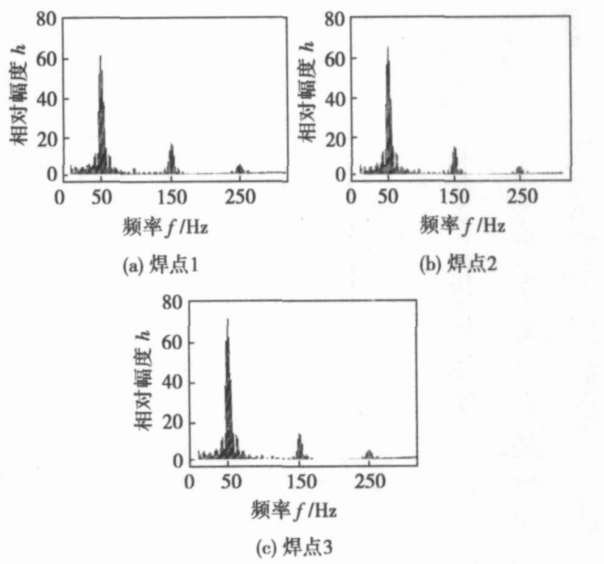


图 8 点焊电流波形
Fig. 8 Current waveforms of spot welding



图中横坐标两条谱线间的 $\Delta f = 2\text{Hz}$.
图 9 点焊电流波形幅频图
Fig. 9 Amplitude-frequency charts of spot welding current waveforms

径的敏感程度有较大差异.
应当看到, 当网压变化时, 50 Hz 基波幅值会发生相应变化. 而当焊接产生飞溅时, 也必然会引起
[下转第 104 页]

标准方差,其反映了 10个近似熵值波动程度所对应焊接过程稳定性变化情况.从表 3及图 4与图 5中对照分析可以发现,在铝合金脉冲 MIG焊过程中,所产生的电弧电压信号其近似熵值越小,标准方差越小,焊接过程就越稳定,而且焊缝成形好;不然焊接过程不稳定,焊缝成形也差.

3 结 论

(1)通过对一系列铝合金焊接过程中的电弧电压信号的近似熵分析,且与实际焊缝对比分析,用铝合金脉冲 MIG焊电弧电压信号的近似熵来衡量焊接过程稳定性是可行的.

(2)在铝合金脉冲 MIG焊中,电弧电压信号平均近似熵值小,标准方差小,其焊接过程比较稳定;平均近似熵值大,标准方差大,其焊接过程越不稳定.

参考文献:

[1] Charles R Tolle Randall A Laviolette Herschel B Smartt et al Is there evidence of determinism in droplet detachment within the gas metal arc welding process? Q // 6th International Conference on Trends in Welding Research, Columbus, Ohio, USA, 2002 380—385

[2] 曹 彪,吕小青,黄石生.等.短路过渡电弧焊电流信号的近

似熵分析[J].物理学报,2006 55(4):1698—1704.

Cao Biao Lu Xiaojing Huang Shisheng et al Approximate entropy analysis of current in short circuiting arc welding [J]. Acta Physica Sinica 2006 55(4) 1698—1704

[3] 蔡 艳,杨海澜,吴毅雄,等.短路过渡弧焊过程稳定性在线评价模型设计[J].上海交通大学学报,2005 39(7):1038—1041.

Cai Y an Yang Hai lan Wu Yi xiong et al An On line Evaluation model for process stability of short circuit arc welding [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University 2005 39(7): 1038—1041

[4] Pincus SM Approximate entropy as a complexity measure [J]. Chaos 1995 5(1): 110—117.

[5] Chaffin D G Barnard JM Decreased approximate entropy of heart rate variability in the hypoxic ovine fetus [J]. Journal of Maternal Fetal Investigation 1998 8(1) 23—26

[6] 佟春生,黄 强,刘 涵,等.基于近似熵的径流序列复杂性研究[J].西北农林科技大学学报,2005 33(6):121—126.

Tong Chunsheng Huang Q iang Liu Han et al Study on runoff series complexity based on approximate entropy[J]. Journal of Northwest A & F University 2005 33(6): 121—126

[7] 胥永刚,李凌均,何正嘉.近似熵及其在机械故障诊断中的应用[J].信号与控制,2002 31(6):547—551.

Xu Yonggang Li Lingjun He Zhengjia Approximate entropy and its applications in mechanical fault diagnosis [J]. Information and Control 2002 31(6) 547—551

作者简介:黄健康 男,1981年出生,博士研究生.主要从事焊接自动控制研究.发表论文 4篇.

Email: s2810@163.com

[上接第 100页]

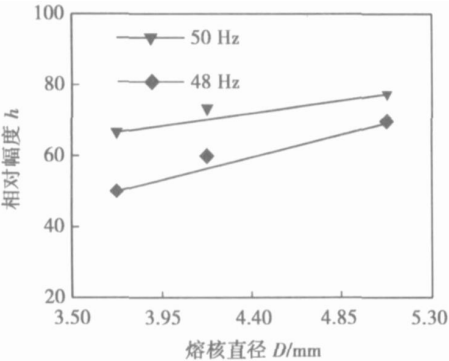


图 10 熔核直径与频谱幅值的关系

Fig 10 Relationship between nugget diameter and amplitude spectrum values

频谱图的变化,其变化规律性需作进一步的研究.

4 结 论

(1)研制的基于 TMS320LF2407A的点焊电流信号采集及液晶显示系统,可实现焊接电流信号的实时采集、波形的液晶显示与频谱分析,依此可对熔

核直径及焊点质量进行实时检测与评判.上机试验结果表明,系统的软、硬件设计是合理的.

(2)系统采用 C语言与汇编语言混合编程的方式完成了采样、液晶显示及 FFT算法,使信号处理的执行时间大大缩短,从而可在实际焊接过程中对电流波形进行分析与处理.

参考文献:

[1] 万晓慧.交流点焊电流信号频谱特征与熔核尺寸关系研究 [D].西安:西北工业大学,2005

[2] 张云霞,马铁军,张 勇,等.TC4直流点焊电流波形的频谱与熔核直径的关系[J].电焊机,2008 38(5):59—61.

Zhang Yunxia Ma Tiejun Zhang Yong et al Relationship between DC spot welding current waveform spectrum and nugget diameter for TC4 [J]. Electric Welding Machine 2008 38(5) 59—61.

[3] 王念旭.DSP基础与应用系统设计[M].北京:北京航空航天大学出版社,2002

作者简介:张 勇 男,1965年出生,工学博士,副教授.主要从事电阻焊理论与质量控制方面的科研和教学工作.发表论文 20余篇.

Email: hzhyong@nwpu.edu.cn

wavelet basic waves are used to analyze the CO_2 arc voltage signal in Matlab. Finally the db2 basic wave is selected and used in this algorithm in which the filter is stationary and the sampling signal is processed one by one by three decomposition. To meet real time requirements the main program is developed in C++ and the assembly subroutine of wavelet detection is developed by the multiplier of DSP and the RPT instruction. As a result it has a fast operation speed and improves the real time capability of detection. The calculation results of C++ program show the accuracy and the feasibility of this algorithm. Experiment results show that false short circuit signal can be removed by the db2 basic wave and the short circuit moment can be detected in real time by this algorithm.

Key words: wavelet transform; detection of short circuit signal; algorithm; real time

Liquid crystal display system for spot welding current waveform and its amplitude frequency diagram. ZHANG Yong, MA Tiejun, JIA Jingbo, YANG Shijian, XIE Hongxia (Shaanxi Key Laboratory of Friction Welding Technologies, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China). P 97—100

Abstract: In order to online detect the diameter of the spot welded nugget through the spectrum of the welding current, a liquid crystal displayer (LCD) system was developed to screen the welding current and its spectrum after fast Fourier transformation (FFT). The digital signal processor (DSP) TMS320LF2407A and LCD TFT6448b are indirectly interfaced to realize the data exchange with the same baud rate. Assembly language based program was embedded inside the C program to guarantee the real time implementation of FFT. Experiments on spot weld of the mild steel with AC welding machine are pursued for the online status detection. The feasibility of the above displaying system in sample current collection, carrying out FFT and displaying the waveform and its spectrum are validated.

Key words: spot welding; digital signal processor; fast Fourier transformation algorithm; LCD display

Analysis on welding stability of aluminum alloy pulse MIG welding based on approximate entropy. HUANG Jiankang, SHI Yu, NIE Jing, FAN Ding (1. State Key Laboratory of Gansu Advanced Non-ferrous Metal Materials, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 2. Key Laboratory of Non-ferrous Metal Alloys and Processing, The Ministry of Education, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China). P 101—104

Abstract: In order to evaluate the stability of aluminum alloy pulsed MIG welding, an approximate analysis has been done on voltage signal in the process of aluminum alloy pulsed MIG welding. The calculation and comparison of the approximate entropy on voltage signal under different welding procedures such as welding speeds, wire feed rate, duty cycle and so on show that the approximate entropy of voltage can reflect the stability of the process of aluminum alloy pulsed MIG welding. The re-

sults show that the smaller the average value of approximate entropy and standard deviation is, the more stable the welding process will be. On the contrary, the welding process is unstable while the average value is high.

Key words: pulse MIG; approximate entropy; parameters; stability

Seawater corrosion resistant welding procedure of $00\text{Cr}_{18}\text{Ni}_{14}\text{Mo}_2\text{Cu}_2$ stainless steel. CHE Juntie, JI Zhongli, ZHANG Bing, HUANG Junhua (1. China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617, China). P 105—108

Abstract: In this paper, seawater corrosion resistant welding procedure of $00\text{Cr}_{18}\text{Ni}_{14}\text{Mo}_2\text{Cu}_2$ austenitic stainless steel was studied. With the improvement of welding procedure, width of heat affected zone (HAZ) was reduced, difference of chemical constitution between HAZ and fusion zone (FZ) was minimized, metallurgical structure of HAZ was refined, precipitate of Fe-Cr phase (σ phase) was controlled. The corrosion rate of HAZ was decreased and corrosion rate of weld joint (FZ, HAZ and base metal) was emerged in corrosion liquor at the same time) was greatly decreased.

Key words: seawater corrosion; welding procedure; HAZ; corrosion rate

Numerical simulation on deformation in inner pipe wall of in-service welding onto gas pipeline. CHEN Yuhua², WANG Yong, HE Jianjun (1. School of Aeronautical Manufacturing Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China; 2. College of Mechanical and Electronic Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong, China; 3. China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621907, Sichuan, China). P 109—112

Abstract: The software of SYSWELD was used to simulate the welding deformation in inner pipe wall when in-service welding onto active gas pipeline and the difference of welding deformation between in-service welding and routine welding was compared. The results show that for a point in the region near the in-service welded seam, its deformation increases when the welding heat source closes up and achieves maximum when the welding heat source passes through this point. The deformation decreases during the cooling process. The deformation of in-service welded joint has much difference with routine welded joint. The transient deformation and residual deformation of in-service welded joint are all convex deformation, but the transient deformation of routine welded joint changes from convex deformation to concave deformation during the cooling process and the residual deformation is concave deformation. When heat input is increased, the transient deformation and residual deformation in the region near the in-service welded seam are also increasing, but the transient deformation and residual deformation in the region far from the in-service welded seam are decreasing.

Key words: in-service welding; gas pipeline; deformation; numerical simulation