

文章编号: 1002-025X(2007)01-0010-03

# CO<sub>2</sub>短路过渡焊工艺参数优化的研究

薛家祥, 刘晓, 杨国华, 董飞, 王振民

(华南理工大学机械学院, 广东广州 510640)

**摘要:** 由于CO<sub>2</sub>短路过渡焊接过程是一个非线性、时变的过程, 所以对其焊接工艺参数的优化研究一直是焊接界的热点。运用正交试验, 结合自行研制的焊接电弧动态小波分析仪对焊接电流、电弧电压、焊接速度等主要焊接工艺参数进行了优化研究。根据试验结果分析了主要焊接工艺参数与焊接质量之间的关系, 为焊接工艺参数的优化及焊机性能的改进奠定了必要的基础。

**关键词:** 正交试验; 小波分析仪; 焊接工艺参数

**中图分类号:** TG444.73      **文献标识码:** B

CO<sub>2</sub>气体保护焊焊接过程常伴有强烈的弧光、飞溅以及烟尘等干扰, 以致焊接过程中采集到的电信号中不可避免地存在高频干扰, 从而影响焊接工艺参数的分析效果。为了准确地提取焊接过程中的电信号信息, 本文采用自行研制的小波分析仪进行电信号的提取, 有效地抑制了干扰信号, 为焊接工艺参数的优化提供了必要的保障。通过正交试验研究了焊丝直径、焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊丝伸出长及保护气体流量等主要焊接工艺参数影响的显著性, 以改进实际生产中对焊接工艺参数的制定, 提高焊接性能。

## 1 试验设计

### 1.1 试验方案与影响因素的选定

由于焊接过程是一个多因素影响的复杂过程, 因而对其工艺参数进行优化就显得非常困难。若逐个对每个影响因素进行焊接工艺评定, 则必定要进行大量的试验, 这在人力、财力和时间上都是不可行的。而正交试验法能够大幅度地减少试验次数且不降低试验可行度, 其优点是用很少的试验次数(与全面试验相比), 获得简便而有效的对因素效应进行参数估计的数据<sup>[1]</sup>。正交表能够在因素变化范围内均衡抽样, 使每次试验都具有较强的代表性, 由于正交表具备均衡分散的特点, 保证了全面试验的某些要求, 这些试验往往能够较好地达到试验的目的。

在CO<sub>2</sub>气体保护焊中, 影响焊缝成形质量的主要因素有焊丝直径、焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊丝伸出长、保护气体流量等。其中焊接速度是影响焊缝熔深、熔宽和余高的一个重要因素; 焊丝伸出长与电弧稳定性和焊接过程中的飞溅有直接的关系; 保护气体在焊接过程中主要起到屏蔽的作用, 其

流量应该在形成较为稳定的层流的基础上尽量大些。而焊丝的型号通常取决于焊接电流的大小以及试件的厚度。由于本试验采用的是板厚为3 mm的Q235钢板, 故选择 $\phi$ 1.0 mm的细焊丝。选定焊丝之后本试验主要考虑了焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊丝伸出长和气体流量5个因素进行焊接工艺的正交试验, 采用了规格化的五因素四水平正交表, 见表1。该试验方案中每一个因子的不同水平在试验中出现次数相同而且任意两因子的不同水平组合在试验中出现的次数也相同, 从而保证了该正交试验的均衡性和正交性。其中, L<sub>16</sub>(4<sup>5</sup>)表示该五因素四水平的正交试验需进行16组试验。

表1 焊接试验L<sub>16</sub>(4<sup>5</sup>) 正交表

试验号	焊接电流	电弧电压	焊接速度	焊丝伸出长	气体流量
01	1	1	1	1	1
02	1	2	2	2	2
03	1	3	3	3	3
04	1	4	4	4	4
05	2	1	2	3	4
06	2	2	1	4	3
07	2	3	4	1	2
08	2	4	3	2	1
09	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

### 1.2 选定因素位级

在CO<sub>2</sub>短路过渡范围内, 推荐焊接电流70~180 A; 电弧电压18~23 V; 焊接速度0.3~0.6 m/min; 焊丝伸出长(为便于测量, 实际是导电嘴至焊件间距离)6~15 mm; 保护气体流量推荐值8~15 L/min<sup>[2]</sup>。本试验用材料为Q235, 规格为200 mm×100

收稿日期: 2006-06-21; 修回日期: 2006-12-15

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(04020100)

mm×3 mm。综合考虑各影响因素,为了保证所取参数值的典型性,取值基本涵盖了参数推荐值的上下限和中间值,而最优的规范一般都在中间值附近,因此在中间部分均取2个水平。即对除焊丝直径之外的5个因素,在推荐的规范内,每个因素取4个水平,制定出五因素四水平的正交试验方案。具体的因素水平表见表2。

表2 因素水平表

因素	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /( $m \cdot \min^{-1}$ )	焊丝伸出长 /mm	气体流量 /( $L \cdot \min^{-1}$ )
水平1	80	18	0.3	7	8
水平2	110	20	0.4	10	11
水平3	140	21	0.5	12	13
水平4	170	23	0.6	15	16

## 2 数据统计与结果分析

按照设计好的正交试验方案进行试验,试验过程中,采用自行研制的焊接电弧动态小波分析仪采集焊接过程的电流电压波形,并经小波滤波后显示出输入能量、动态电阻和焊接U-I图,结合焊接试验现场的实际情况,包括焊接稳定性、断弧和飞溅,制定出的试验方案与相应的焊接结果见表3。

表3 正交焊接试验方案及结果

编号	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /( $m \cdot \min^{-1}$ )	焊丝伸出长 /mm	气体流量 /( $L \cdot \min^{-1}$ )	焊接现象		
						焊接稳定性	有无断弧	有无飞溅
01	80	18	0.3	7	8	很稳定	无	很少
02	80	20	0.4	10	11	不稳定	有少量	较多
03	80	21	0.5	12	13	很不稳定	有较多	很多
04	80	23	0.6	15	16	很不稳定	有大量	很多
05	110	18	0.4	12	16	比较稳定	无	少量
06	110	20	0.3	15	13	比较稳定	无	较多
07	110	21	0.6	7	11	比较稳定	无	较多
08	110	23	0.5	10	8	比较稳定	无	很多
09	140	18	0.5	15	11	很不稳定	有大量	很多
10	140	20	0.6	12	8	比较稳定	无	少量
11	140	21	0.3	10	16	比较稳定	无	较多
12	140	23	0.4	7	13	比较稳定	无	很多
13	170	18	0.6	10	13	很不稳定	有大量	很多
14	170	20	0.5	7	16	比较稳定	无	较多
15	170	21	0.4	15	8	比较稳定	无	较多
16	170	23	0.3	12	11	比较稳定	无	较多

由于本试验的试验次数较多,限于篇幅,故从中选出2组试验所对应的波形图加以说明,以描述整个试验过程中焊接波形图与实际焊接效果的关系。

如图1所示,01#的焊接电流波形、电弧电压波形、热输入波形、动态电阻波形和U-I图都很稳定,而且实际焊接时重复性很好;电流波形上升沿变化很快,具有大的电流上升率,在下降沿呈缓降特性;电压波形呈周期性的阶梯形状,非常规

则;热输入波形是带有三角尖峰的阶梯形状,动态电阻的梯形上端比较平稳,无尖峰出现,表明焊接过程电弧特性很好;U-I图也很规则。由此和其他相似的试验结果可看出,电弧电压与焊接电流应匹配适当,小电流大电压或者大电流小电压的成形效果都不好。如03#,04#是小电流大电压,09#,13#是大电流小电压,其实际成形效果很差;而01#,05#,10#的电流电压匹配较好,其实际成形效果就较好。

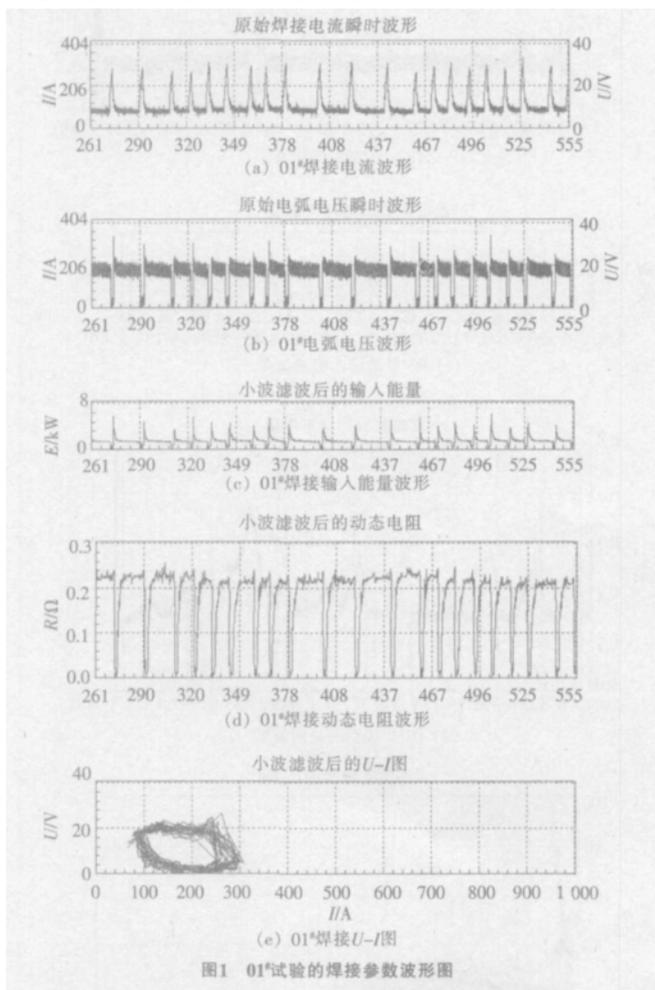


图1 01#试验的焊接参数波形图

如图2所示,03#焊接参数的波形很不规则,这主要是在维持电流不变的情况下,增大了电弧电压、焊接速度和焊丝伸出长。电弧电压增大,使得弧长变长,气体保护效果变差;焊接速度的加快,使得焊缝熔深、熔宽减小;增大了焊丝伸出长,使得电弧不稳定,飞溅量增大。从波形图上还可清楚地看到,在出现断弧处,电流减小,趋近于零,电压很高。热输入和动态电阻由于反映了电流电压综合作用的结果,因此,热输入和动态电阻变化都很不规则,且热输入小,而动态电阻很大;其U-I图左端小电流区间内电压陡增,这也清楚地描述了断弧的存在。另外,对比03#焊接参数和其他相似结果的试验可知,焊接电流较小时,焊接速度不能太快。如02#,03#,04#这三道焊缝的焊接电流不变,焊接速度依次增大,其实际焊接效果越来越差。

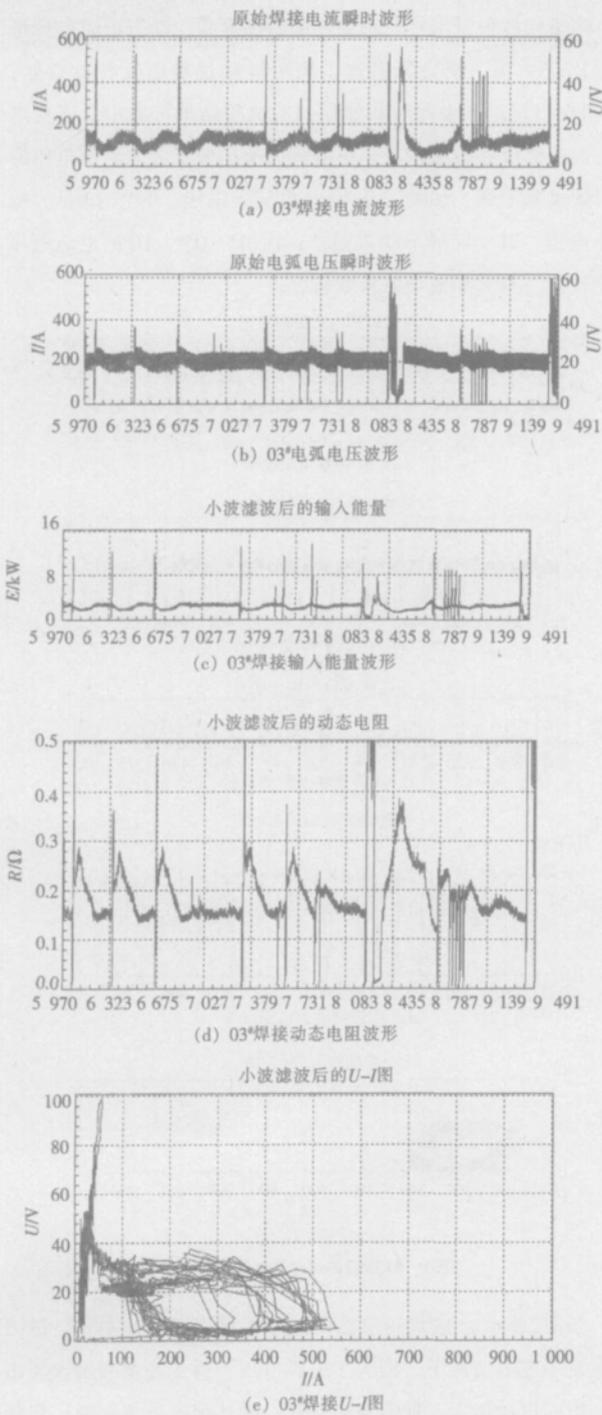


图2 03#试验的焊接参数波形图

图3为01#和03#的实际焊缝。01#的焊缝表面光滑、有光泽且有鱼鳞状波纹。



(a) 01#焊接参数的实际焊缝



(b) 03#焊接参数的实际焊缝

图3 01#、03#焊接参数的实际焊缝

现场的焊接过程很稳定，并发出连续的“滋滋”声，焊接过程不断弧且飞溅很小，因此该试验的焊接参数匹配较为理想。而03#焊缝成形极差，明显存在大量断弧，现场焊接过程飞溅非常大，并伴随着大量“鞭炮声”，焊接过程时断时续，很不稳定。

通过对以上16组试验的结果进行分析对比，可以看出：焊接电流、电弧电压不太大时，焊丝伸出长不能太长。如04#，09#，15#的伸出长都是15 mm，但是由于前2个的电流电压较小，所以成形很差，而第3个的电流电压较大，所以焊缝成形效果较好。另外气体流量不能太小，流量越小，焊缝周围被氧化发黑的程度就越大。如08#，10#，15#的气体流量为8 L/min，周围被氧化发黑的程度较大；而05#，11#，14#的气体流量为16 L/min，周围被氧化发黑的程度较小。总体看来，波形稳定性、规律性最好的是01#，05#，10#，这三组的波形都比较规则，波形很稳定，实际的焊缝成形效果较好；波形规律性最差的是04#，09#，13#，无论电流电压，还是热输入、动态电阻和U-I图，都非常不规则，实际的焊缝成形状况也非常差；另外，02#，03#，08#，12#的实际焊接质量也比较差。

### 3 结论

(1) 电弧电压与焊接电流应该匹配适当，小电流大电压或者大电流小电压的成形效果都不好，而且电流电压不太大时，焊丝伸出长不能太长。

(2) 焊接电流较小时，焊接速度不能太快。另外，气体流量不能太小，气体流量越小，焊缝周围被氧化发黑的程度越大。

(3) 若想进一步获得更好的焊接参数，可以在现有焊接效果较好的参数之间取值，重新制定焊接工艺，进一步进行正交试验。

### 参考文献：

[1] 易志平, 薛家祥. CO<sub>2</sub>焊电信号的小波分析[J]. 华南理工大学学报, 2002, 30(6): 27-29.

[2] 殷树言. 焊接设备原理与调试(第1版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.

[3] 刘耀东, 张学秋, 王 辉. 合金溜槽堆焊焊条的正交设计[J]. 电焊机, 2005, 35(11): 53-56.

作者简介: 薛家祥 (1962—), 男, 华南理工大学机械工程学院教授、博士后, 主要从事弧焊过程小波分析、神经网络模糊控制及新型弧焊逆变器的研究工作, 发表论文70余篇。

## MAIN TOPICS, ABSTRACTS & KEY WORDS

Friction stitch welding—a new kind of solid phase joining technology

CHEN Jia-qing, JIAO Xiang-dong, QIU Zong-yi, et al.

(Research Center of Offshore Engineering Joining Technology, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617, China) P1- 6

Abstract: This paper simply introduced the origin of friction stitch welding, the mechanism of friction hydro pillar processing (FHPP) elemental forming process, the bonding properties of FSW. The research process for engineering application in European-Union countries has also been discussed in the paper. The foreign experimental research illustrated that the friction stitch welding can achieve good bonding properties under the condition of dry or wet environment, so it occupies great potentials in the repair of steel structure, especially in the case of underwater repair. The domestic researchers should combine with the practical developmental requirement of national oil industry in priority, to initiate the related basic application research work as soon as possible.

Key words friction stitch welding (FSW), bonding properties, steel structure, underwater repair

Optimal research of CO<sub>2</sub> short circuiting transfer welding parameters

XUE Jia-xiang, LIU Xiao, YANG Guo-hua, et al.

(College of Mechanical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, Guangdong pro., China) P10- 12

Abstract: The CO<sub>2</sub> short circuiting transfer welding is a non-linear and time-variant process, so the optimization of its welding parameters is a focus in the field of welding. The main welding parameters such as welding current, arc voltage and welding speed have been optimized by the orthogonal test and welding arc dynamic wavelet analysis instrument. The relationship between the main welding parameters and welding quality were analyzed according to the experiment results, and it laid the groundwork for the optimization of welding parameters and the promotion of welding performance.

Key words: orthogonal test, wavelet analysis instrument, welding parameters

M- A constituents in local brittle zones of pipeline steel

MENG Fan-gang, CHEN Yu-hua and WANG Yong

(College of Mechanical and Electronic Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong pro., China) P13- 15

Abstract: The shape, amount, distribution and fine structure of M- A constituents in the local brittle zones of X70 pipeline steel were investigated by means of welding thermal simulation, metallographic analysis technology and transmission electron microscope (TEM). The results show that M- A constituents in coarse grained heat-affected zone are mostly massive and a small number is long banding. The volume fraction is 9.6% and the average length is 1.67  $\mu\text{m}$ . The number of M- A constituents in intercritically reheated coarse grained heat-affected zone (IRCGHAZ) increases rapidly and the volume fraction is 18.58%. Most of the M- A constituents are long banding and distribute densely. The spacing interval between M- A constituents is small and the average length is 4.21  $\mu\text{m}$ . Under TEM, long banding M- A constituents generally distribute between bainite ferrite laths, some of the massive M- A constituents are irregular shape and some are triangle. Fine structure of martensite in M- A constituents is twin sub structure.

Key words: X70 pipeline steel, local brittle zones, M- A constituents

Arc characteristic and welding technology for pipeline under high ambient pressure

SONG Guang-he, WANG Zhong-hui, JIANG Li-pei, et al.

(Metallurgy Vehicles Factory of Subsidiary Enterprise of Angang, Anshan 114041, Liaoning pro., China) P33- 35

Abstract: Using the homemade hyperbaric underwater welding simulation experiment equipments, the characteristics of GTAW arc under the high pressure atmosphere surroundings are studied for the first time in the paper. The research indicated that along with the hoist of environmental pressure, the gaseous density is increscent, the degree of ionization is depressed, the electric field intensity of arc column is increscent, the static characteristic curve of electric arc move upwards. After the air pressure boosting, not only the electric field intensity of arc column is increscent, the energy of arc column is enhanced, but also the section of electric arc is shrinked, the density of energy is augmented, so the brightness of electric arc is swelled. Using the means of multiple regression, the mathematical model of arc voltage