

铝合金 VP PMIG 焊电弧过零稳定性

廖 平^{1,2}, 黄鹏飞¹, 卢振洋¹, 殷树言¹, 白立来¹

(1. 北京工业大学 机械工程与应用电子技术学院, 北京 100022;

2. 佳木斯大学 材料科学与工程学院, 黑龙江 佳木斯 154007)

摘 要: 在薄板铝合金变极性脉冲熔化极惰性气体保护焊中, 采用全桥高压脉冲双向稳弧方式, 研究了高压稳弧脉冲电压幅值、脉冲持续时间、脉冲触发时刻、基值电流对焊接电流过零稳定性的影响。在小基值电流过零时, 稳弧脉冲电压比基值电流对焊接电流过零稳定性的影响大。焊接电流过零的稳定性与稳弧脉冲电压的上升率有关, 稳弧脉冲电压上升率有一个临界区间, 使焊接电流过零时不稳定, 采用稳弧脉冲电压上升率判断焊接电流过零稳定性, 能够为铝合金 VP PMIG 焊焊接电流过零再引燃提供有效、可靠的依据。

关键词: 过零稳定性; 电压上升率; 变极性; 脉冲熔化极惰性气体保护焊

中图分类号: TG434 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2006)11-013-04



廖 平

0 序 言

VP PMIG 焊(variable polarity pulse MIG)是近几年发展起来的一种焊接方法, 其特点是可以通过控制 EN 极性(焊丝为负)时间占脉冲周期的比例来控制焊接电弧的能量, 可以获得较小的熔深, 因此适合于薄板焊接。

薄板铝合金 VP PMIG 焊接中, 工件和焊丝均为冷阴极材料, 发射电子较困难, 尤其是在焊接电流过零时, 电流的流动方向发生了改变, 在极性变换的两个方向都容易出现电弧熄灭问题。因此, 在焊接电流过零时需要采取一定的措施保证电流过零后电弧能再引燃。对于铝合金交流脉冲 MIG 焊电流过零稳弧可以采用不同的方法, 如采用“双凹形”焊接电流, 在电流较大时变换极性, 实现了电流过零自稳弧, 不需要辅助高压稳弧措施^[1]; 当电源输出极性由 EN 极性(焊丝为负)切换为 EP 极性(焊丝为正)的瞬间, 过零稳弧电路提供高压引弧脉冲防止发生断弧, 而当电源输出极性由 EP 极性切换为 EN 极性时, 依靠二次逆变器产生的浪涌电压引燃电弧, 无须另加高压稳弧脉冲^[2]; 在小基值电流下电弧过零时, 可采用两个高压辅助电源实现焊接电流过零时的双向稳弧^[3]。

交流电弧燃烧稳定性, 实际上是焊接电流过零

后电弧可靠再引燃的问题, 如果焊接电流过零后能够顺利再引燃, 则交流电弧能够稳定燃烧。针对薄板铝合金 VP PMIG 焊, 采用全桥式高压脉冲稳弧方式取得了很好的稳弧效果^[4], 在此基础上研究了高压稳弧脉冲幅值、脉冲持续时间、脉冲触发时刻、基值电流对焊接电流过零电弧稳定性的影响。

1 高压稳弧脉冲幅值

交流电弧换向时, 其极性发生了变化, 电流的流动方向也随之改变, 电弧空间的导电性下降。因此, 在电极两端之间的导电粒子浓度下降到一定程度之前, 必须把电弧重新引燃, 一般采取施加高压脉冲的方法再引燃电弧。采用 VP PMIG 焊接方法焊接薄板铝合金, 通过调压器改变高压稳弧脉冲的电压值, 研究了铝合金 VP PMIG 焊电弧再引燃与稳弧脉冲电压的关系。试验条件: 采用直流脉冲引弧, 然后切换到交流; 工件为 2 mm 厚 3A21 铝合金; 焊丝为直径 1.2 mm 的 ER4043; 氩气流量 12 L/min。焊接试验参数: 给定电弧电压值 17.5 V; EN 比率 20%; 送丝速度 3.5 m/min; EP 极性脉冲电流 $I_p = 235$ A, 脉冲时间 $t_p = 2.4$ ms; EP 极性脉冲电流前的基值电流 $I_{b1} = 50$ A, 脉冲电流后的基值电流 $I_{b2} = 50$ A; EN 极性电流 $I_{en} = 50$ A; 高压稳弧脉冲持续时间 10 μ s。

试验方法: 调整稳弧脉冲电源电压, 测出其与电弧燃烧状况之间的关系, 然后对应稳弧脉冲电源电

压,在空载状况下测试电源输出端之间固定负载上的稳弧脉冲电压,该电压就是加在电弧两个电极之间的稳弧脉冲电压值,如果电流过零时电弧空间电阻很大处于熄灭状态时,则稳弧脉冲电压全部加在电极两端,试验结果见表 1。

表 1 稳弧脉冲电压与电弧燃烧状况

Table 1 Arc stabilizing voltage and arc burning status			
稳弧电压 U/V	电压上升时间 $t/\mu s$	电压上升率 $v/(V^{\circ}\mu s^{-1})$	电弧燃烧状况
< 270	3.9	< 69.2	不能燃烧
280~290	3.9	71.8~74.4	电弧频繁熄灭
290~310	3.9	74.4~79.5	能燃烧,有断弧
310~318	3.9	79.5~81.5	连续燃烧,不稳定
≥ 328	3.9	≥ 84.1	稳定连续燃烧

由试验结果可知,当稳弧脉冲电压较小时,电弧将不能燃烧,即焊接电流过零后电弧就熄灭了;稳弧脉冲电压在 280~310 V 之间时,电弧能够燃烧,但焊接电流过零时会出现断弧,导致电弧不能连续燃烧。当稳弧脉冲电压在 310~318 V 之间时,电弧有时能连续燃烧,有时断弧,处于一种不稳定状态,因此,这段稳弧脉冲电压值区间是变极性焊接电流过零由不稳定到稳定的一个过渡区间,或者是一个临界区间。当高压稳弧脉冲电压值高于 328 V 以后,此时稳弧脉冲电压的电压上升率(实际输出脉冲电压幅值与其上升时间的比)达到了 84.1 V/ μs 以上,焊接电弧能够可靠的稳定燃烧。

2 高压稳弧脉冲持续时间和触发时刻

2.1 高压稳弧脉冲持续时间

在铝合金 VP PMIG 焊中,二次逆变采用了开关速度较快的 IGBT 功率开关管,因此,焊接电流过零的时间相对于正弦波电流过零和晶闸管逆变方波电源的电流过零要快得多。图 1 为焊接电流和电压极性切换时的波形,从测试的结果可以看出,焊接电流由 EN 极性开始向 EP 极性转换到 EN 极性向 EP 极性转换完毕,或者焊接电流由 EP 极性开始向 EN 极性转换到 EP 极性向 EN 极性转换完毕,大约需要 10 μs 时间,电弧电压的极性转换时间基本与焊接电流转换时间相同。

在焊接电流过零波形中,电弧的极性发生变换后,从焊接电流过零开始,需要 5 μs 左右的时间达到

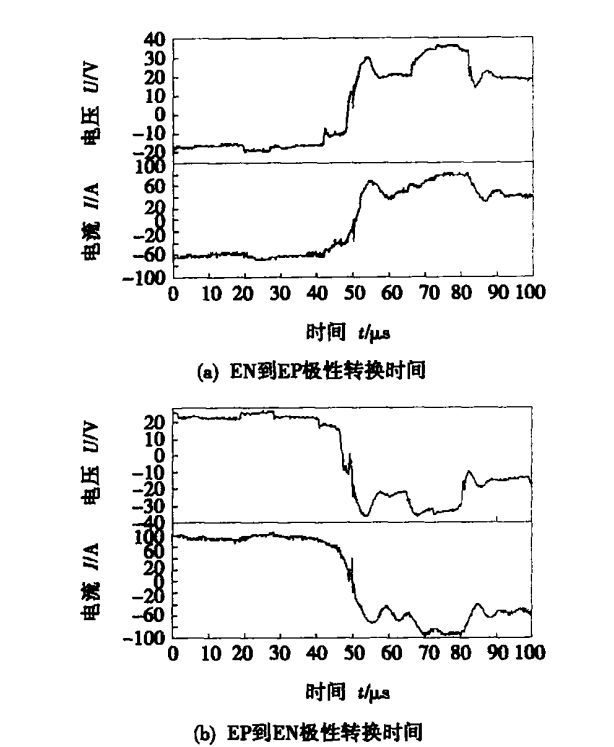


图 1 电流电压极性变换时间
Fig. 1 Polarity conversion time of current and voltage

稳定的电流输出,焊接电流过零时究竟加多长时间的稳弧脉冲合适? 对此问题进行了试验研究。试验条件:在电弧能够稳定燃烧情况下,保持高压稳弧脉冲电源电压幅值不变,逐渐减小高压稳弧脉冲的宽度,即脉冲宽度持续时间。试验方法与上一节的相同,试验结果见表 2。

表 2 稳弧脉冲持续时间与电弧燃烧状况

Table 2 Duration of arc stabilizing pulse and arc burning status			
脉冲持续时间 $t/\mu s$	脉冲电压幅值 U/V	稳弧脉冲电压上升率 $v/(V^{\circ}\mu s^{-1})$	电弧燃烧状况
20	328	84.1	稳定燃烧
10	328	84.1	稳定燃烧
5	325	85.5	稳定燃烧
3	293	97.7	稳定燃烧
2	200	105.3	稳定燃烧
1	80	117.6	稳定燃烧
0	0	0	不能燃烧

随着稳弧脉冲持续时间的减小,实际加在电弧电极两端的稳弧电压值也在减小,但焊接电流过零时仍然能再引燃,能够保持电弧稳定燃烧,只有稳弧脉冲时间为零,即没有稳弧脉冲时,电弧才不能燃烧。因此,在稳弧电压幅值一定的情况下(能保证电

弧稳定燃烧即可),即使稳弧脉冲时间很短、实际输出的稳弧脉冲电压峰值较小,电弧也能稳定燃烧。

当稳弧脉冲时间低于 $5\text{ }\mu\text{s}$ 时,脉冲电压幅值已经达不到稳态值了(受电路参数影响,稳弧脉冲电压在 $3.9\text{ }\mu\text{s}$ 左右达到稳态值),而稳弧脉冲电压持续时间在 $1\text{ }\mu\text{s}$ 左右时,稳弧电压波形已经出现严重振荡,使输出的稳弧脉冲电压不稳定。因此,尽管在较小的稳弧脉冲时间下,电弧也能稳定燃烧,鉴于稳弧脉冲电压输出会不稳定,最小稳弧脉冲持续时间应保持在稳弧脉冲电压输出稳定的时间以上,在该稳弧系统中至少为 $4\text{ }\mu\text{s}$ 左右比较合适。

过长的稳弧脉冲时间是没有必要的,如果在焊接电流过零后的短时间内,没有再引燃电弧,那么即使稳弧脉冲持续时间再长,也起不到稳弧作用。在保证焊接电流过零能再引燃的条件下,稳弧脉冲持续时间在 $4\sim 10\text{ }\mu\text{s}$ 较合适,实际焊接中取 $10\text{ }\mu\text{s}$ 稳弧脉冲持续时间。

2.2 高压稳弧脉冲触发时刻

试验条件:保持稳弧脉冲电源电压幅值和脉冲持续时间不变,其它条件与前面试验条件相同,施加高压稳弧脉冲的时刻从焊接电流过零开始,逐渐延迟稳弧脉冲的触发时间,稳弧脉冲延迟时间与电弧燃烧状况的关系见表 3。

表 3 稳弧脉冲触发时刻与电弧燃烧状况

Table 3 Trigger time of arc stabilizing pulse and arc burning status

稳弧脉冲延迟时间 $t/\mu\text{s}$	电弧燃烧状况
$0\sim 30$	连续稳定燃烧
≥ 40	出现断弧

在稳弧脉冲延迟时间较小时,焊接电流过零后能稳定燃烧。此时,由于热惯性的原因,电弧空间温度保持在一个较高的状态,电弧空间的电离度较大,因而焊接电流过零后容易再引燃,电弧燃烧稳定。

当稳弧脉冲延迟 $40\text{ }\mu\text{s}$ 以上时,焊接电流过零后仍然能够燃烧,但是已经开始出现断弧现象,这种现象说明,当焊接电流过零一定时间后,电弧空间温度已经下降,空间电离度减小,一旦电弧过零后空间电离度降到不具备电弧再引燃条件时,电弧将熄灭,而此时由于稳弧脉冲电压的幅值有限,达不到将两个电极之间空气间隙击穿的条件,既使再加稳弧脉冲电压也不能再引燃电弧。

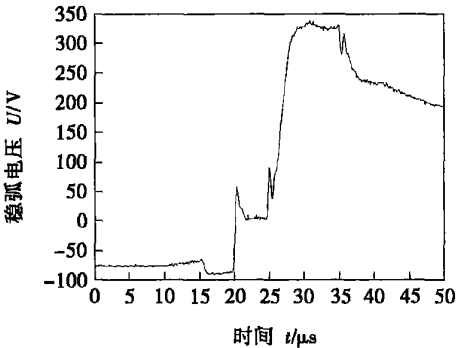
因此,在电弧极性变换时,稳弧脉冲的触发时刻宜设在电弧每次极性变换的过零点,保证电弧每次过零都能可靠再引燃。

3 稳弧脉冲电压上升率

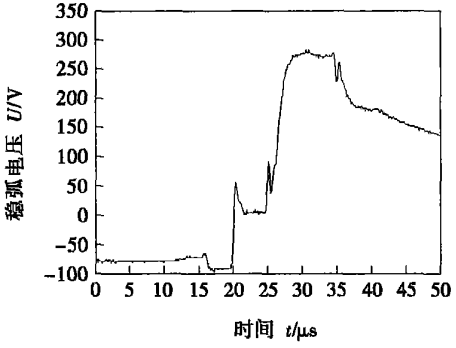
从表 1 中的数据可知,稳弧脉冲电压值低于 318 V 时电弧不能稳定燃烧,而表 2 中稳弧脉冲电压值在 $80\sim 328\text{ V}$ 之间,却能使电弧稳定燃烧。因此,仅仅用稳弧脉冲电压幅值来判断焊接电流过零时能否可靠再引燃是不充分的。

总结表 1 和表 2 中能使电弧稳定燃烧的规律,发现稳弧脉冲电压上升率与焊接电流过零时的稳定性密切相关,焊接电流过零时电弧稳定燃烧的稳弧脉冲电压上升率要比电弧不稳定燃烧时的大。

在表 1 中,当高压稳弧脉冲的持续时间不变,而电压幅值发生变化时,稳弧脉冲电压上升到电压幅值的时间基本相同,图 2 是在空载状态下,电弧极性由 EN 向 EP 转换时,施加在电极两端的高压稳弧脉冲波形,其电压幅值分别为 328 V 和 270 V ,稳弧脉冲电压上升时间均为 $3.9\text{ }\mu\text{s}$ 左右,稳弧脉冲电压达到稳态值的上升率分别为 $84.1\text{ V}/\mu\text{s}$ 和 $69.1\text{ V}/\mu\text{s}$,电弧极性由 EP 向 EN 转换时的高压稳弧脉冲的情况与此类似,只是方向相反。因此,当稳弧脉冲电压幅值减小时,意味着稳弧脉冲电压的上升速度降低



(a) 稳弧脉冲电压幅值 328 V , 上升时间 $3.9\text{ }\mu\text{s}$



(b) 稳弧脉冲电压幅值 270 V , 上升时间 $3.9\text{ }\mu\text{s}$

图 2 不同稳弧脉冲幅值及其上升时间

Fig. 2 Amplitude and rise time of different arc stabilizing pulse

了,电弧燃烧的稳定性变差,而稳弧脉冲电压幅值升高时,稳弧脉冲电压的上升率也在增加,电弧燃烧的稳定性提高。

表 2 中的数据显示,随着稳弧脉冲持续时间减小,当稳弧脉冲持续时间小于 $3.9\ \mu\text{s}$ 时,实际加在电弧两端的脉冲电压幅值在下降,但此时稳弧脉冲电压的上升率却在增加(脉冲持续时间为零时除外),其值均高于 $84.1\ \text{V}/\mu\text{s}$,因而仍然能够保持电弧稳定燃烧。

稳弧脉冲电压上升率反映了单位时间内电压的上升速度,其值越大则单位时间内两个电极之间的电压值越高,电极之间的电场强度就越强,电场强度的增加,有利于阴极电子的发射。因而,稳弧脉冲电压上升率大,容易使焊接电流过零时再引燃,从而保证电弧能够稳定燃烧。

通过试验研究证明,在薄板铝合金 VP PMIG 焊系统中,焊接电弧燃烧由不稳定到稳定状态有一个临界区间,该区间可通过稳弧脉冲电压上升率反映出来,电弧燃烧不稳定的稳弧脉冲电压上升率的上限在 $80\ \text{V}/\mu\text{s}$ 左右。当电弧极性发生变换时,如果高压稳弧脉冲电压的上升率达到 $84.1\ \text{V}/\mu\text{s}$ 以上,电弧将能可靠再引燃,保证铝合金 VP PMIG 焊电弧稳定燃烧,不会出现断弧现象。

4 焊接基值电流的影响

电弧空间的电离度是影响电弧过零再引燃的一个重要因素,电离度大小与焊接电弧的温度有关,而焊接电流则直接影响电弧空间的温度。

试验条件:降低稳弧脉冲电压值,使稳弧脉冲电压上升率略低于电弧稳定燃烧临界值,即使电弧处于不能稳定燃烧的状况(有断弧),稳弧脉冲的触发时刻在焊接电流的过零点。把焊接基值电流从 $50\ \text{A}$ 逐渐调到 $100\ \text{A}$,观察电弧燃烧状况。由于 VP PMIG 焊主要用于薄板铝合金焊接,其焊接电流不能太大,所以基值焊接电流仅提高到 $100\ \text{A}$ 。试验结果表明,在电弧不能稳定燃烧的情况下,即使增加基值焊

接电流,焊接电流过零后电弧仍然不能稳定燃烧。随着基值焊接电流的增加,电弧过零时空间的温度升高、电离度增加,有利于电弧的再引燃,但是由于不具备电压再引燃的条件,电弧仍然不能稳定燃烧。

因此,在小基值电流铝合金 VP PMIG 焊焊接电流过零时,稳弧脉冲电压对焊接电流过零稳定性的影响起主要作用,它比基值电流对焊接电流过零稳定性的影响要大。

5 结 论

(1) 稳弧脉冲电压幅值只是焊接电流过零稳定的一个必要条件,除此以外,还与焊接电流过零时稳弧脉冲电压的上升时间有关,即稳弧脉冲电压上升率。铝合金 VP PMIG 焊中,在小基值电流过零时,稳弧脉冲电压对电流过零稳定性的影响比基值电流的影响大。

(2) 在铝合金 VP PMIG 焊小基值电流过零时,采用稳弧脉冲电压上升率能准确地判断出焊接电流过零时的稳定性。稳弧脉冲电压上升率有一个临界区间,会使电流过零时电弧处于不稳定状态,只有高于此临界区间的稳弧脉冲电压上升率才能保证电弧在焊接电流过零时稳定燃烧。

参考文献:

- [1] 焦向东,潘际奎,张 骅. 双凹波形脉冲氩弧焊的焊接电源[J]. 焊接学报,1996,17(1):56—61.
- [2] 全红军,上山智之. 交流脉冲 MIG 焊接机器人系统的工艺特点[J]. 焊接,2002(1):20—22.
- [3] 杭争翔,殷树言,黄鹏飞,等. 逆变弧焊电源输出变极性过程[J]. 电焊机,2003,33(6):13—15,38.
- [4] 廖 平,殷树言,黄鹏飞,等. 变极性脉冲 MIG 焊稳弧系统研究[J]. 电焊机,2006,36(2):33—35.

作者简介:廖 平,男,1965 年 1 月出生,教授,博士研究生。主要从事新型焊接设备及自动化方面的研究,发表论文 20 余篇。

Email: lpjns@sina.com

MAIN TOPICS, ABSTRACTS & KEY WORDS

Numerical simulation of effect of thermal cycling on tensile strength and microstructure of QFP soldered joint XUE Song-bai, WU Yu-xiu, CUI Guo-ping, ZHANG Ling (College of Materials Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China). p1—4

Abstract: Thermal fatigue life of QFP devices under thermal conditions of 25-125℃ was studied by means of FEM analysis, which the experiment results of 186 times is close to the simulated result of 213 times. Tensile strength test and SEM analysis of the soldered joint fracture were carried out to elucidate the effect of thermal cycling on tensile strength and microstructure of QFP soldered joint. Results show that the crack in soldered joint gemminates at the inner side of interfaces of solder and brass pad. With increasing of the thermal cycling times, the tensile strength of the soldered joint reduces gradually and the fracture mode of the joint belongs to the toughness fracture before thermal cycling through observing fractographs of the fracture of the joint by SEM. With increasing of the thermal cycling times, crystal grains are coarsened and the dimples will grow up too, so that the brittle fracture plays a leading role after 120 times thermal cycling, and the fracture mode of the joint belongs to brittle fracture after 186 times thermal cycling.

Key words: quad flat package; thermal cycling; tensile strength

Corrosion resistance of Al-based coating prepared by arc spraying WEI Qi, REN Chun-ling, CUI Li, LI Zhuo-xin (The College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China). p5—8, 24

Abstract: Al-based coating is prepared by arc spraying using Al-based cored wire. High-temperature oxidation resistance and corrosion resistance of Al-based coating are compared with that of Fe-Al coating and 45CT coating. Also H₂S corrosion resistance of Al-based coating is compared with that of Fe-Al coating and A304 stainless steel. The results shows that Al-based coating has excellent high-temperature oxidation resistance under 650 ℃. In the case of saline corrosion and H₂S corrosion, only the surfaces of Al-based coating are eroded and the corrosion surface is very thin. The inside of the coatings is not eroded at all. Thus Al-based coating has excellent corrosion resistance.

Key words: arc spraying; Al-based coating; cored wire; high-temperature oxidation resistance; corrosion resistance

Varied damp phenomena of commutation progress in variable polarity plasma arc welding LI Zhi-ning¹, DU Dong¹, WANG Li¹, LIU Xian-li², BAI Jin-bing² (1. Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Capital

Aerospace Machinery Company, Beijing 100076, China). p9—12

Abstract: During commutation process of variable polarity plasma welding welding test, the phenomenon of welding current resonance are observed and the resonance peaks of current are much different with different polarities, i. e., the welding system has varied damp factor. The phenomena are explained by the arc physics theory and commutation circuit model. The commutation circuit structure is redesigned to adjust the damp factor of system after commutation, while the commutation speed and arc stability are not influenced. By this way, the peak of current is reduced and the working condition of commutation component is improved greatly. The research is instructive for design of high-power variable polarity plasma arc welding power supply.

Key words: variable polarity plasma arc welding; commutation progress; varied damp factor; conductance of arc

Cross zero stability of aluminum alloy VP PMIG welding arc

LIAO Ping^{1,2}, HUANG Peng-fei¹, LU Zhen-yang¹, YIN Shu-yan¹, BAI Li-lai¹ (1. Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 2. Jiamusi University, Jiamusi 154007, Heilongjiang, China). p13—16

Abstract: Variable polarity pulsed MIG welding of thin sheet aluminum alloy is realized by full bridge bidirectional high voltage arc stabilizing method, and the influences of voltage amplitude of high voltage arc stabilizing pulse, pulse duration, pulse triggering time and background current on cross zero stability are also investigated. When small background current crosses zero, the influence of arc stabilizing pulse voltage on cross zero stability is more than that of background current. The rise rate of arc stabilizing pulse voltage which influences the cross zero stability has a critical span, in which the arc is unstable when arc current crosses zero. Estimating the cross zero stability of VP PMIG through calculating the rate of arc stabilizing pulse voltage, it can offer an efficacious and credible warranty to the reignition of the cross zero welding arc of aluminum alloy VP PMIG.

Key words: cross zero stability; voltage rising rate; variable polarity; pulse metal inert gas arc welding

Ultrasonic fast identification for faulty welded joint defects of auto body spot welding ZHAO Xin, QIAN Chang-ming,

CHEN Guan-long, ZHANG Yan-song (School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China). p17—20

Abstract: The traditional ultrasonic testing methods for detecting the auto-body spot welded joint especially the faulty welding defects have some application problems such as the bad adaptability