

# VP PMIG 焊接电弧能量控制

卢振洋, 曾军辉, 黄鹏飞, 廖平, 殷树言

(北京工业大学 机械工程与应用电子技术学院, 北京 100024)

**摘要:**研制了基于 DSP 控制的逆变式交流脉冲 MIG 焊接系统,并用于薄板铝合金焊接。对电弧形态、焊丝熔化速度、焊缝尺寸的影响规律等进行了实验研究。实验表明,随着 EN 极性占整个变极性电流周期比率提高,焊丝熔化速度增大,电弧热输入减少,焊缝熔深变浅。这些特征可以用于解决薄板焊接的烧穿问题。

**关键词:**变极性;脉冲 MIG 焊;EN 比率;电弧能量

中图分类号: TG403

文献标识码: A

文章编号: 1001-2303(2009)06-0005-04

## Controlling of VP PMIG welding arc energy

LU Zhen-yang, ZENG Jun-hui, HUANG Peng-fei, LIAO Ping, YIN Shu-yan

(College of Mechanical Engineering and Applied Eletrons Technology, Beiging University of Technology, Beijing 100024, China)

**Abstract:** In this paper an AC pulsed MIG welding system base on DSP is developed for welding thin sheets of aluminum alloy, and the process features such as shape of arc, wire melting rate, bead size are investigated. Advantages such as increasing melt speed of wire, decreasing heat input, shallowing penetration are obtained at high EN ratio. These features successfully solve the burn through problem in welding thin plate. Thin plate can be welded at high speed.

**Key words:** varied polarity; pulsed MIG welding; EN ratio; welding arc energy

## 0 前言

随着科学技术的发展,轻质铝合金材料以其优良的物理和化学特性,在产品中的应用越来越多。铝合金结构主要是采用通长、大型薄壁、中空挤压型材及板材等构成的焊接结构形式,其中很多薄板铝合金结构常采用电弧焊。

目前,通常采用的焊接薄板铝合金主要的焊接方法有:交流脉冲 TIG 焊、脉冲 MIG 焊、交流脉冲 MIG 焊等。交流脉冲 TIG 焊可以焊接铝合金薄板,且焊接质量较高,但其焊接速度较慢,焊接效率较低;脉冲 MIG 焊是一种高质量、高效率的焊接方法,实际焊接中常采用焊丝接正方法(即 DCEP PMIG)焊接,但其熔深较大,焊薄板时,容易烧穿工件;MIG 焊焊丝接负时(即 DCEN MIG),熔深较浅,焊丝熔化速度快,但其电弧稳定性差,焊缝成形不好,容易

出现焊缝熔合不良、凸焊道等焊接缺陷。交流脉冲 MIG 焊综合了 DCEP 脉冲 MIG 焊和 DCEN MIG 焊的优点,能够有效控制电弧热输入量、焊缝熔深、焊丝熔化速度,是一种适合于薄板铝合金焊接的新方法,对于提高焊接产品的质量和焊接效率都具有重要的意义。

## 1 VP PMIG 焊接设备系统构成

本系统主要包括 5 个部分:主电路、高压稳弧电路、控制电路、送丝系统以及参数给定与显示系统<sup>[1-3]</sup>。系统的结构框图如图 1 所示。主电路中有两个逆变器,一次逆变采用 PWM 控制方式实现恒电流控制,二次逆变采用 PFM 控制方式实现焊接电弧恒电压特性,保持弧长稳定。在电源极性切换瞬间通过高压稳弧电路在电弧两端加上稳弧电压,实现电弧电流过零的双向稳弧。电流电压双闭环控制系统、送丝调速系统以及参数给定与显示都由 DSP 芯片 TMS 320F2812 统一协调控制,以实现控制目的。

收稿日期:2008-04-21;修回日期:2009-02-09  
基金项目:国家自然科学基金资助项目(50575006)  
作者简介:卢振洋(1957—),男,北京人,博士,教授,主要从事材料加工工程领域的研究工作。

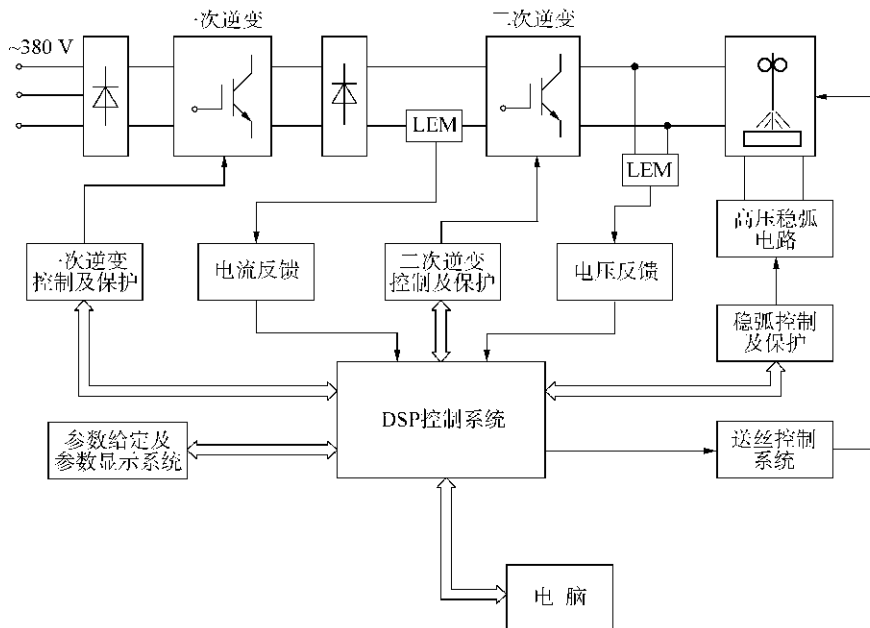


图 1 VP PMIG 焊接设备系统框图

Fig.1 System scheme of VP PMIG welding equipment

## 2 变极性电弧形态和能量分配的关系

MIG 焊电弧包括三种情况: DCEP 极性、DCEN 极性以及变极性电弧, MIG 焊时不同方法的电弧形态和熔深示意如图 2 所示。

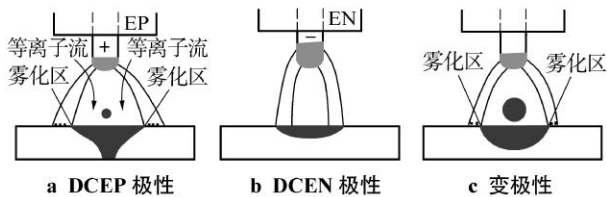


图 2 MIG 焊电弧和熔深示意

Fig.2 Sketch diagram of MIG welding arc and penetration depth

在焊接电弧中,一般阴极区的电压高于阳极区的电压,由此可知电弧的热量主要来源于阴极产热,因此 EP 极性电弧热量主要集中在工件上,EN 极性时热量主要集中在焊丝端头。

DCEP PMIG 焊时,阴极区位于工件侧,阴极产热较多用于加热工件,这时焊缝熔深最大(见图 2a)。其间电弧根部集中于熔滴下半球表面,使熔滴过热,熔滴过渡会把熔滴的热量带入熔池,使熔池的温度升高,同时熔滴过渡的冲击力也会加大熔深。DCEP PMIG 焊的熔深较大,且容易呈“指状”。

图 2b 是 DCEN MIG 焊时的情况,此时阴极位于焊丝侧,阴极产热较多用于加热焊丝,电弧呈束

状、收缩较大、焊缝熔深很浅。当铝及其合金为阴极时,阴极斑点将自动寻找氧化膜,当氧化膜被击碎后又寻找新的氧化膜,因而阴极斑点在不断游动,由于焊丝上端的氧化膜较多,阴极斑点向上移动,出现电弧向上爬的现象。这个时候电弧热量主要用于加热焊丝。

VP PMIG 焊时,在 DCEP PMIG 焊的基础上融入了 DCEN MIG 焊的特性,因此可以通过控制 EN 极性占总周期的比值(EN 比率)来控制能量分配,以达到更好的焊接效果。

VP PMIG 焊电弧的形态和焊缝的熔深和焊丝的熔化速度介于 DCEP MIG 和 DCEN MIG 之间,见图 2c。

## 3 焊丝熔化速度的控制

从高速摄像的照片可以看出,电弧极性由 EN 切换到 EP 时,便在焊丝端部形成了液态金属球,但是在 EP 极性期间这个液态金属球的尺寸变化不大<sup>[4]</sup>,可见 EN 极性对焊丝的加热作用是非常明显的。因此,与 EN 极性有关的 EN 极性持续时间、EN 极性基值电流都将对焊丝的熔化速度产生影响,在铝合金 VP PMIG 焊中控制焊丝熔化速度时,应该从这两个方面着手。

试验条件:工件材料为 3A21 铝合金;工件厚度 3 mm;焊丝直径  $\varphi$  1.2 mm;焊丝牌号 ER4043;氩

气流量 12 L/min;EN 比率调整范围 0~50%;焊接速度 70 cm/min;EP 极性脉冲电流  $I_p=240$  A,脉冲时间  $T_p=2.4$  ms;EP 极性基值电流  $I_{b1}=50$  A, $I_{b2}=50$  A;EN 极性电流  $I_m=50$  A。以 EN=0%,送丝速度 3.5 m/min 为参考,每次试验保持脉冲焊接电流频率不变,焊接电流、电弧电压的有效值基本相同,调整 EN 比率和送丝速度,测试 EN 比率与焊丝熔化速度的关系。试验结果如图 3 所示。

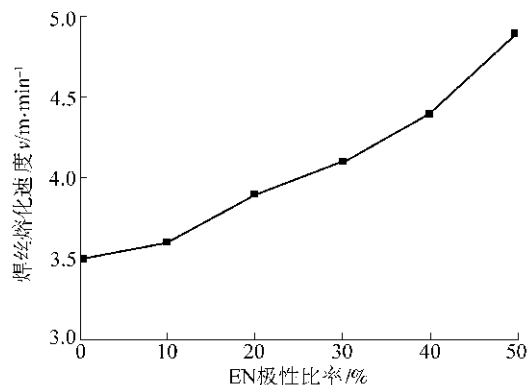


图 3 焊丝熔化速度与 EN 比率关系

由图 3 可知,当焊接电流和焊接电压有效值基本相同时,通过调节 EN 比率,可以调节焊丝熔化速度,且 EN 极性比率从 0 调节至 50%时,焊丝熔化速度可以从 3.5 m/min 增大至 4.8 m/min。

EN 极性焊丝的加热能量受两个主要因素的影响,除 EN 极性比率外,还有一个因素是 EN 极性的基值电流,为此进行了如下实验:

试验条件:工件为厚 3 mm 的 3A21 铝合金;焊丝为  $\phi 1.2$  mm 的 ER4043;氩气流量 12 L/min;EN=20%;焊接速度 70 cm/min;EP 极性脉冲电流  $I_p=240$  A,脉冲时间  $T_p=2.4$  ms;EP 极性基值电流  $I_{b1}=50$  A, $I_{b2}=50$  A;以 EN=20%,送丝速度 3.5 m/min 为参考,保持焊接电流有效值不变,调整 EN 极性电流大小(其他部分电流相应变化),直到电弧弧长保持稳定为止,即焊丝的熔化速度与焊丝的送给速度相同,这时的送丝速度就是焊丝的熔化速度。每次试验保持脉冲焊接电流的频率不变,仅调整 EN 极性电流和送丝速度,测试 EN 极性电流与焊丝熔化速度的关系,试验结果如图 4 所示。

随着 EN 比率增大,EN 极性在一个脉冲电流周期中持续的时间越长,相当于 EN 极性电弧对焊丝的加热时间增加,焊丝吸收的热量越多、温度越高,导致焊丝熔化加快。在 EN 比率、脉冲电流频率和

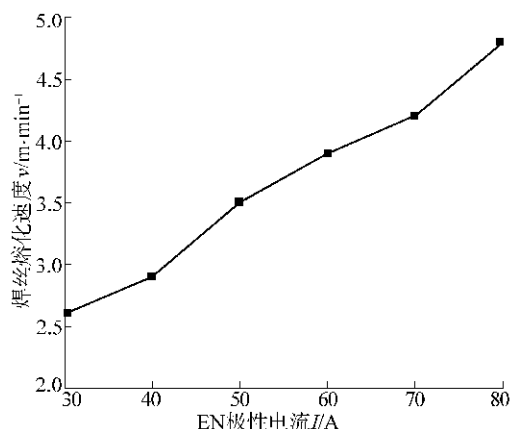


图 4 EN 极性电流与焊丝熔化速度关系

平均焊接电流基本相同的情况下,电流在 EN 极性中比例的增加,可以使焊丝熔化速度增大。

#### 4 EN 比率对焊缝尺寸的影响

铝合金 VP PMIG 焊的主要应用对象是薄板铝合金,因此,必须控制焊接过程中焊缝的熔深,否则很容易将薄板烧穿。本研究是通过调整 EN 比率来控制焊缝的熔深<sup>[5-7]</sup>。

试验基本条件:工件为厚 2 mm 的 3A21 铝合金;焊丝为  $\phi 1.2$  mm 的 ER4043;氩气流量 12 L/min。焊接参数:EN 比率调整范围 0~50%;送丝速度 3.5 m/min;焊接速度 70 cm/min;EP 极性脉冲电流  $I_p=250$  A,脉冲时间  $T_p=2.2$  ms;EP 极性基值电流  $I_{b1}=50$  A, $I_{b2}=50$  A;EN 极性电流  $I_m=50$  A。在不同 EN 比率焊接时,仅调整 EN 比率和电弧电压,其他焊接参数不变。

不同 EN 比率下焊缝的横截面照片如图 5 所示。从焊缝熔深形状变化来看,EN=0%时的焊缝熔深呈典型的指状熔深(DCEP PMIG 的熔深特征);EN 比率大于 10%时,焊缝熔深形状呈 V 型,并且随着 EN 比率增大,V 型的角度越来越大、深度越来越小。

调整 EN 比率可以控制焊缝熔深,对于不同厚度的工件和焊接参数,EN 比率变化对焊缝的影响可能有所不同,但是变化趋势是一致的。

测量图 5 中的焊缝尺寸后,便得到不同 EN 比率时焊缝熔深、焊缝宽度、焊缝余高之间的变化关系,如图 6 所示。由图可知:EN=0%时,即直流脉冲 MIG 焊,焊缝完全熔透并有一定程度的下塌,焊缝宽度最大、焊缝余高最小。随着 EN 比率的增加,焊缝的熔深和宽度逐渐减小,而焊缝余高逐渐加大。当 EN=50%时,焊缝的熔深最浅、宽度最小、余高最



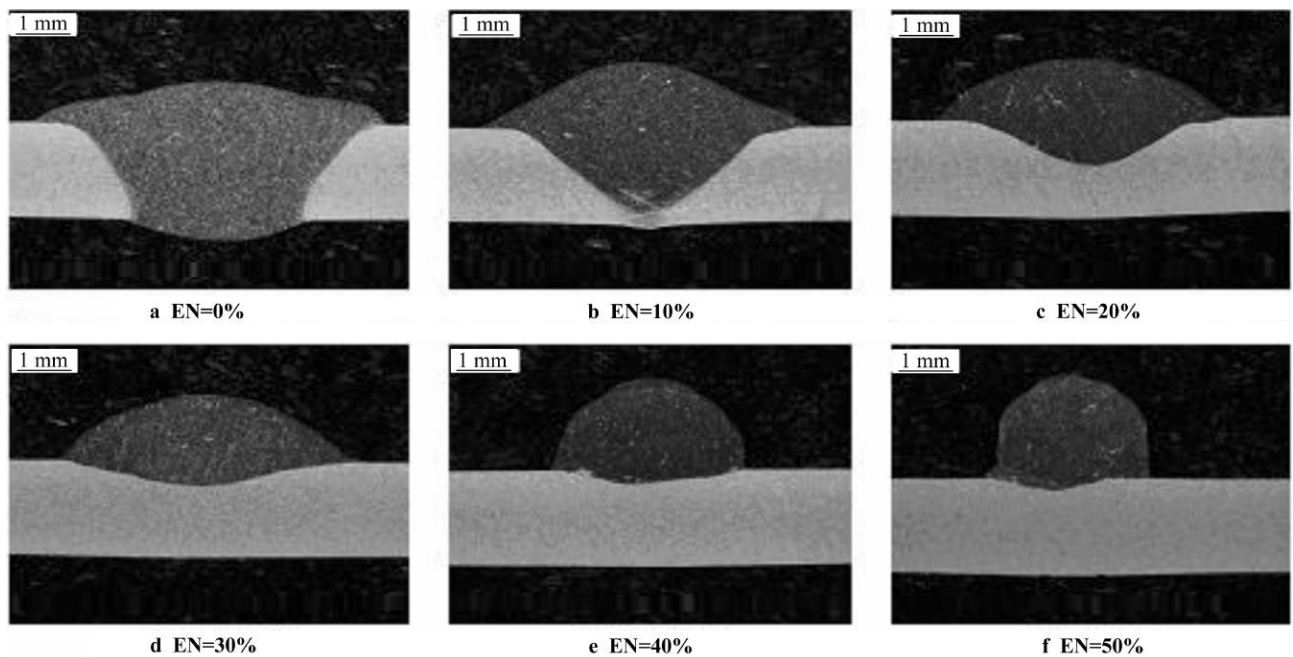


图 5 不同 EN 比率的焊缝截面

符合焊接质量的要求,因此,在 VP PMIG 焊中,EN 比率不宜设得太大。EN 比率大都设在 10%~40% 之间。

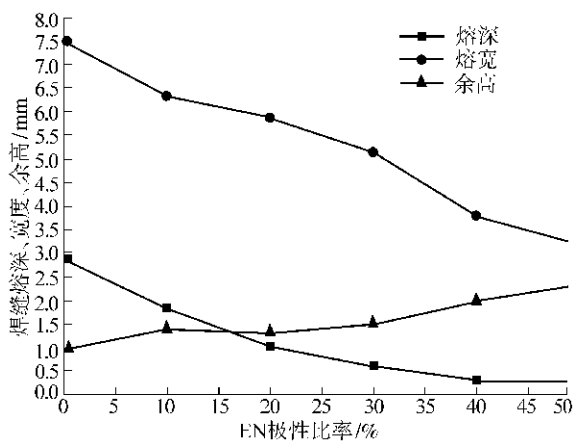


图 6 焊缝尺寸与 EN 比率的关系

## 5 结论

用新研制的基于 DSP 控制的薄板铝合金 VP PMIG 焊接设备对该焊接方法特征进行探讨。通过分析 VP PMIG 焊电弧能量在焊丝和工件之间的分配关系,观察变极性电弧形态和熔深,通过实验探讨了 EN 比率和焊丝熔化速度的控制及其焊缝尺寸的关系,实验表明:

(1)焊丝的熔化速度与 EN 比率和 EN 极性的基值电流有关,EN 比率或者 EN 极性基值电流增加,

都会加快焊丝的熔化,通过调整 EN 比率或者 EN 极性基值电流可以控制焊丝的熔化速度。保持电流和电压有效值不变,通过调整 EN 比率从 10%~40%,或保持电流有效值和 EN 比率不变,调整基值电流从 40~70 A 时(其他部分电流相应变化),焊丝熔化速度可提高约一倍。

(2)调整 EN 比率可以改变焊缝尺寸,随着 EN 比率增加,焊缝的熔深和焊缝宽度将减小,而焊缝余高将会增加,选择 EN 比率 10%~40%,焊缝成形较好。

## 参考文献:

- [1] 殷树言,张九海.气体保护焊工艺[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1989.
- [2] 潘际鑫.现代弧焊控制[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [3] 王其隆,张九海,崔洪江,等.铝焊丝 GMA 焊电弧形态和熔滴过渡的研究[R].哈尔滨工业大学科学研究报告,1981,(77):1-15.
- [4] 廖平.薄板铝合金 VP PMIG 焊接设备及电弧稳定性研究[D].北京:北京工业大学,2007.
- [5] 安藤弘平,长谷川光雄.焊接电弧现象(增补版)[M].施雨相译.北京:机械工业出版社,1985.
- [6] 都岛贞雄,藤田治男,岩见博志.大电流 AC-MIG 溶接法の开发(第一报)[J].溶接学会论文集,1992,10(1):83-87.
- [7] 都岛贞雄,藤田治男,岩见博志.大电流 AC-MIG 溶接法の开发(第二报)[J].溶接学报,1992,10(1):88-94.