

熔化极气体保护焊焊丝伸出长度 和电弧弧长的稳定性

傅希圣 李 焯* 王夏冰

(兰州 甘肃工业大学)

摘 要 本文采用典型的焊丝熔化率半理论公式和自己测得的有关常数计算了熔化极气体保护焊时,稳定的焊丝伸出长度和焊丝伸出长度的恢复时间常数。并利用电弧照像法,电弧高速摄影和高速现象分析装置进行了大量的试验验证,研究了熔化焊丝中的电阻热对电弧弧长稳定性的重要影响。

关键词 GMA 焊接; 伸出长度; 稳定性; 焊丝熔化率

0 序 言

熔化极气体保护焊时为了保证焊接过程的稳定和电弧的稳定,应保证焊丝熔化速度与焊丝送进速度之间处于充分的稳定平衡状态。在不同的焊接条件下这一平衡状态的物理本质不尽相同,其稳定程度也不同。本文讨论了焊丝伸出长度的自身调节作用及其影响因素。这在富氩气体保护焊中意义重大。

1 试验装置和研究方法

图1是试验装置,电源是TR-800晶体管电源,可获得各种斜率的外特性,也可作为多种波形的脉冲电源应用。采用低碳钢MG50T和不锈钢SUS309焊丝,分别用纯Ar、80%Ar+20%CO₂、50%Ar+50%CO₂和纯He作为保护气体。以高压氙灯为背光源,用高速摄影结合普通照像法测定稳定的焊丝伸出长度及其恢复现象,用高速现象分析装置得到焊丝伸出长度实测的恢复时间常数与理论计算值进行对照。表1是焊丝的化学成分。

焊丝伸出长度及其恢复时间常数都应用了焊丝熔化率半理论公式,即

$$V = \frac{1}{H_0 + b} (\Phi j + a L j^2) \quad (1)$$

其中 V —焊丝熔化速度(mm/s); a 、 b —焊丝材料决定的常数; Φ —阳极等效电压;

* 李焯现在北京石油化工学院工作。

j —电流密度 (A/mm^2) ; L —焊丝伸出长度 (mm) ; H_0 —熔滴热焓。

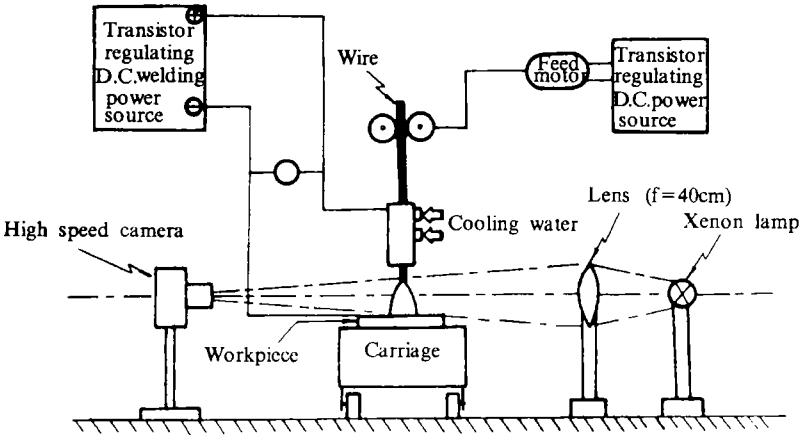


图 1 试验装置
Fig.1 Testing device

表 1 焊丝的化学成分

Table 1 Chemical compositions of welding wires

Materials	Chemical compositions (wt%)									
	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al	
A5183	<0.1	<0.04	<0.04	0.5 ~ 1.0	4.3 ~ 5.2	0.05 ~ 0.25	<0.25	0.05 ~ 0.20	bal.	
A5083	<0.1	<0.04	<0.04	0.4 ~ 1.0	4.0 ~ 4.9	0.05 ~ 0.25	<0.25	0.15	bal.	
A4043	<0.3	0.45 ~ 0.60	<0.8	0.05	0.05		<0.1	<0.2	bal.	
A1070	<0.04	<0.20	<0.25	<0.30	0.03		<0.04	<0.03	>99.7	
Materials	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Fe		
Mild steel	0.097	0.61	1.28	0.016	0.017			Bal.		
SUS 309	0.12	0.6	1.0 ~ 2.5	0.03	0.03	12.0 ~ 14.0	23.0 ~ 25.0	Bal.		

表 2 是测得的各种材料焊丝时公式 (1) 中的常数, 其中 V_l/V_w % 表示焊丝伸出长度为 20mm 时电阻热对焊丝熔化率的百分比。

表 2 测定常数 a 、 b 和电阻热对焊丝熔化的作用

Table 2 Measured constants a and b , and contribution of ohmic heating to wire melting

Materials	$a(\times 10^{-3}\Omega mm)$	$b(J/mm^3)$	$H_0(J/mm^3)$	$V_l/V_w(\%)$	$\Phi(V)$
A5183	7.5	0.03	5.28	3.6	5.5
A4043	3.6	0.01	6.12	1.96	4.64
A1070	3.5	0.04	6.4	1.87	
Mild steel	130	5.0	12.36	45.0	5.20
SUS309	135	1.0	14.23	55.0	5.69

2 焊丝伸出长度的试验和计算结果

图 2 是用低碳钢 MG50T 直径 $d=1.2\text{mm}$ 焊丝在两种不同成分的保护气体时测得的一组熔化特性曲线, 曲线有很大的斜率, 但却是完全平行的。测定时导电嘴至工件的距离保持不变, 因此估算焊丝的比电阻, 弧柱电位梯度和阴极压降与阳极压降之和均为常数。不同保护气体只影响弧柱电位梯度的数值, 因此相同焊丝熔化率和相同弧长时有不同的电弧电压。

图 3 是用同样焊丝在电流和送丝速度一定的情况下改变导电嘴和工件之间的距离并配合电弧照像法测定的结果。由图可知低碳钢细丝气体保护焊时, 电弧弧长 L_a 对焊丝熔化率几乎没有影响, 因此只要焊丝伸出长度维持不变“焊丝熔化速度即可保持稳定。换言之只要电流不变, 导电嘴与工件间的距离不变, 电弧弧长也稳定在一定的数值, 更重要的是焊丝熔化速度与焊丝送进速度之间是处于稳定平衡状态。就是说当电流有较大波动(如图中为 20A 时), 或导电嘴与工件间距离有较大变动(如图中为十几毫米), 以及当送丝速度有波动时都不会破坏上述之平衡状态, 而且能迅速的过渡到新的稳定平衡状态。由此可知焊丝伸出长度有使焊接过程自动保持稳定的自身调节作用。

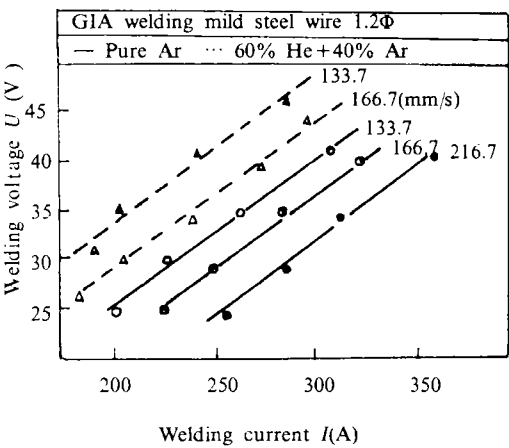


图 2 一组碳钢焊丝的熔化特性
Fig.2 Melting property of a mild steel welding wire

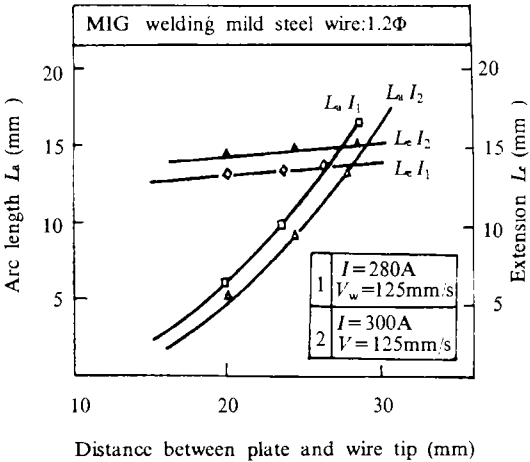


图 3 焊枪高度对 L_a 、 L_e 的影响
Fig.3 Effect of distance between plate and wire tip on arc length L_a

为了研究这一过程, 还应进一步验证不同保护气体下在焊丝伸出长度大范围变化时焊丝熔化率公式的适用性。以便能用该公式进行计算。图 4 是用低碳钢 MG50T 焊丝在各种不同保护气氛下测的焊丝伸出长度与焊接电流的关系曲线。由图可看到在各种不同保护气氛时试验点基本重合, 由此可知保护气体对焊丝熔化率没有影响。此外非常明显焊丝伸出长度与焊接电流呈某种曲线关系。

由焊丝熔化率公式 (1) 可知任何规范下焊丝伸出长度都可以用该公式计算出来, 即

$$L = \frac{V(H_0 + b)}{aj^2} - \frac{\Phi}{aj}$$

(2)

把试验用焊接规范和表 2 中的常数代入(2)式计算便得到大量的计算点,将计算的焊丝伸出长度与照像法实测的数值相比较,两者能很好地吻合。这说明该公式能正确地表达各种气体保护焊时焊丝的熔化特性。进一步的试验表明对于其它材料的焊丝如不锈钢和铝合金($L_a > 8\text{mm}$)的熔化特性也同样可以用该公式正确地表达。

3 焊丝伸出长度恢复时间常数及试验验证

既然焊丝伸出长度在焊接时存在着自身调节作用,则当某焊接规范偶然突变时,焊丝送进速度与焊丝熔化速度之间就会发生由不平衡状态重新到达平衡状态的过渡过程。该过程可以用简单的数学解析方法得出。

图 5 表示一个熔化极电弧焊系统,其中: L_e 为焊丝伸出长度; L_a 为电弧弧长; L_b 为工件与导电嘴距离; V_m 焊丝熔化速度; V_f 为焊丝送进速度。则有

$$L_e = L_b - L_a \quad (3)$$

该系统还应有

$$\frac{dL_e}{dt} = V_f - V_m \quad (4)$$

将(1)式代入(4)式得

$$\frac{dL_e}{dt} + \frac{aj^2}{H_0 + b} L_e + \frac{\Phi j}{H_0 + b} - V_f = 0 \quad (5)$$

解方程(5)可得焊丝伸出长度恢复时间常数为

$$\tau = \frac{H_0 + b}{aj^2} \quad (6)$$

由(6)式可看出焊丝伸出长度恢复时间常数与焊接电流密度的平方成反比,与焊丝材料的比电阻成反比,与熔滴的热焓成正比。利用表 2 给出的常数和公式(6)可以计算各种焊接条件时焊丝伸出长度的恢复时间常数。

如碳钢焊丝 $d=1.2\text{mm}$; $I=300\text{A}$; 由表 2 可知 $H_0=12.36\text{J/mm}^2$; $b=5\text{J/mm}^3$; $a=1.3 \times 10^{-3}\Omega$ 。则

$$\tau = \frac{12.36 + 5}{1.3 \times 10^{-3} \times 265^2} = 0.19 \text{ (s)}$$

方程(6)的一般解为

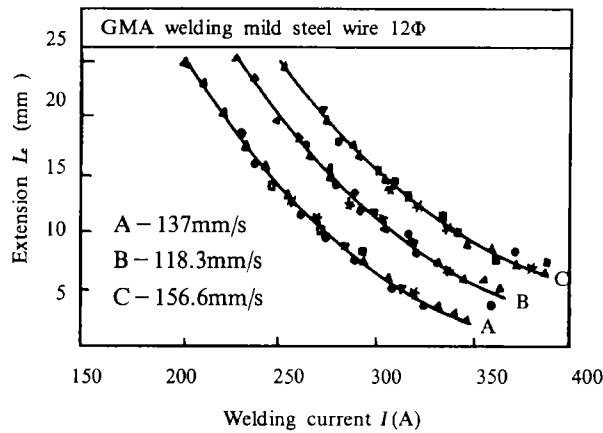


图 4 焊丝熔化率试验曲线

Fig.4 Measured curves of melting rate of welding wire

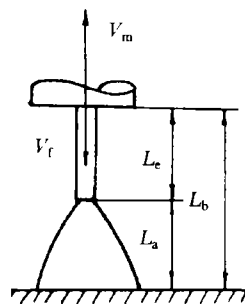


图 5 熔化极电弧系统

Fig.5 Arc system of melted electrode

$$L = Ce^{-t/\tau} + \frac{V(H_0 + b)}{aj^2} - \frac{\Phi}{aj} \quad (7)$$

式中: e 为自然对数底; C 为新稳定焊丝伸出长度与原始值之差。

计算表明, 当低碳钢焊丝伸出长度受到干扰时, 恢复到平衡状态所需的时间很短, 稳定性很好, 即自身调节作用很强。不锈钢焊丝因为其比电阻大焊丝伸出长度自身调节作用也很强。但铝合金焊丝的这一作用则非常弱。如铝合金焊丝 A4043; $d = 1.2\text{mm}$; 电流 $I = 300(\text{A})$, 由表 2 可知 $b = 0.01\text{J/mm}^3$, $a = 3.6 \times 10^{-5}\Omega \cdot \text{mm}$; $H_0 = 6.45\text{J/mm}^2$, 则

$$\tau = \frac{6.45 + 0.01}{3.6 \times 10^{-5} \times 256^2} = 2.55 \text{ (s)}$$

为了验证用上式计算的结果, 采用晶体管电源在焊接时突然改变焊接电流的方法, 配合电弧高速摄影进行了试验。应用高速现象分析装置对高速摄影胶卷进行分析, 其结果表明试验得到的焊丝伸出长度恢复时间常数与计算结果能很好的吻合。

4 结 论

(1) 在细焊丝熔化极气体保护焊时, 焊丝熔化热中电阻热所占的比例很大, 故焊丝伸出长度存在着很强的自身调节作用, 可使送丝速度和焊丝熔化速度保持稳定平衡状态。

(2) 焊丝伸出长度与焊接电流之间存在二次函数曲线的关系, 试验证实保护气体种类对该关系没有影响。应用焊丝熔化率半理论公式计算的结果与试验曲线相符合。

(3) 焊接过程受到干扰时, 焊丝伸出长度由不稳定状态过渡到稳定状态的恢复时间常数可以由一公式计算出来, 并且得到了试验验证。由于导电嘴至工件距离, 焊丝伸出长度和电弧弧长之间有确定的关系, 故焊丝伸出长度的稳定性即代表了电弧弧长的稳定性和焊接过程的稳定性。计算和试验表明细丝气体保护电弧焊时焊丝伸出长度自身调节作用很强, 它对焊接过程的稳定性起着十分重要的作用。

(1994 年 11 月 25 日收到修改稿)

参 考 文 献

- 1 Halmoy E. Wire melting rate, droplet temperature and effective anode melting potential, proc. of Int Con; on arc physics and weld pool behavior, TWI, London, 1979
- 2 Xi Shengfu, Masao Ushio. Melting Characteristics of some steel and aluminum alloy wires GMA welding transactions of JWRI, 1983, 12(2):

Stability of wire extension and arc length with GMA welding

Fu Xisheng, Li Ye, Wang Xiabing

(Gansu University of Technology, Lanzhou)

Abstract The typical half theoretical formula of wire melting rate and measured relevant constants are used for calculating stable extension of wire and it's recovery time constant in GMA welding. Then the calculated results are examined by using arc photography arc high speed cine camera and high speed event analyser. The effects of resistance heat of wire extension on stability of arc length are discussed.

Key words GMA welding; extension; stability; melting rate of wire

• 信息 •

第三届中国国际工业装备展览会将于 1995 年 10 月 24 日至 28 日在上海展览中心举行

该展览会是机械工业部每年一度在上海举办的定期重点展览会,得到了中央有关部委和上海市政府有关部门的大力支持。机械工业部继续委托中国机械工程学会等单位共同承担本届展览会的各项筹备工作。

第三届中国国际工业装备展览会将重点展示物料搬运、工业自动化、汽车零部件加工设备、测试计量、发电设备、表面处理与防护、激光与电子束、泵、阀与密封件等领域国内外的先进技术与设备。

主办单位谨代表机械工业部,诚邀国内各相关企事业单位在本届展览会上展出一流的技术和设备,欢迎各省区市工业主管部门组织统一展团参展,欢迎各大工贸公司和企业集团组织所属企业统一参展,欢迎各高校和科研单位参展,实现科技界和工业界的互利合作。

有关参展参观事宜,请与下述地址联系:

地 址: 北京市三里河机械工业部内中国机械工程学会国际展览部 邮编: 100823

电 话: 010-8595320; 010-8595319 传真: 010-8533613

联系人: 张伟光、张 强、苏小鹰

地 址: 上海市建国西路 406 号中国国际工业装备展览会组织办公室 邮编: 200031

电 话: 021-4371178; 传真: 021-4370982

联系人: 王明亮、郑启源、王肇藩