

第五届全国焊接学术会议 论文选集

1986年9月26日至30日 哈 尔 滨

第四集



中国机械工程学会焊接学会

第五届全国焊接学术会议 论文选集

1986年9月26日至30日 哈 尔 滨

第 四 集



中国机械工程学会焊接学会

《第五届全国焊接学术会议论文选集》共收集了314篇 A 类论文，分4集出版。除大会发言报告安排在第一集外，其它各集所包括的专业委员会和工作组如下：

第一集：I_a、104、Ⅲ、Ⅳ、I_b

第二集：Ⅸ_a、Ⅸ_b、Ⅱ

第三集：X、XⅢ、XV、I_c、Ⅺ、V、Ⅷ、XIV

第四集：Ⅻ、XVI

目 次

核电站用大直径厚壁不锈钢安装管道的焊接设备研制	邱凤翔 等	4—1
脉冲MIG焊接电弧的自适应控制	潘际奎 等	4—2
双丝窄间隙埋弧焊工艺及设备的研究	林尚扬 等	4—3
全位置多电极细管现场焊接新方法研制	陈亮山 等	4—4
微型机控制的具有示教功能的TIG焊可控硅整流电源	徐庆鸿 等	4—5
脉冲TIG焊电弧数字模型及其可控性的研究	赵家瑞 等	4—6
负脉冲电流诱导过渡CO ₂ 焊接用晶体管电源的研究	李树槐 等	4—7
MC-8型弧焊电源动特性分析仪的研制	徐振越 等	4—8
焊缝几何形状的预测和选择	熊腊森 等	4—9
CO ₂ 气体保护焊焊丝绕卷技术及设备的研究	韩吉湘 等	4—10
船舶尾柱丝极电渣焊试验与工艺	王继铭 等	4—11
电弧焊机器人技术	毛秀君 等	4—12
TIG焊接的曲线自动跟踪系统(二)	张兆伍 等	4—13
可控硅弧焊电源外特性的数字控制	候 迈	4—14
武钢1米7助卷辊堆焊用陶瓷焊剂522研制	吕韵生	4—15
顶管工程中管道的全位置自动焊接	刘德兴 等	4—16
利用弧光作为光源的焊缝跟踪新型光学传感器	何方殿	4—17
从不同的控制方式中探索短路过渡CO ₂ 焊的飞溅问题	殷树言 等	4—18
MIG焊铝时电弧自适应控制的研究	潘际奎 等	4—19
弧焊机器人焊接系统的设计研究	吴 林 等	4—20
方波交流焊接S147铝合金接头性能的改善	张九海 等	4—21
TIG焊接的曲线自动跟踪系统(一)不锈钢壶嘴TIG焊机的研制	张兆伍 等	4—22
可控硅非线性MMA焊接电源的研究及工艺试验	李鹤岐 等	4—23
碱性焊条短路过渡时间的研究	卢桂芝 等	4—24
CO ₂ 气体保护焊短路过渡过程电弧参数的研究	李先耀 等	4—25
球铁凸轮轴表面氩弧焊重熔硬化工艺和试验装置的研究	张征权 等	4—26
组合阀式焊接混合气体配比器的研制	姜世杰 等	4—27
可控硅整流焊机微机控制系统	蒋力培 等	4—28
正态分布焊接热源三维温度场的解析计算	赵家瑞 等	4—29
直接视觉法焊缝跟踪的研究	李 严 等	4—30
GJ-300型晶体管焊接电源	刘 钰 等	4—31
小直径超厚壁管窄间隙焊接工艺的研究	钱聚瑛 等	4—32
辅助电极型磁驱动旋弧焊技术(MBS)	朱 钢 等	4—33
YK型载频式焊接电流遥控技术	梁文广 等	4—34
单面焊的粘接软垫研究	罗津如 等	4—35

铜钢复合板罩筒的焊接生产	孙敦武 等	4—36
可控硅式弧焊整流电源小电流波形连续问题的研究	施克仁	4—37
微机CMC-80为基的超薄板焊接过程控制系统的研究	俞尚知 等	4—38
并连逆变式弧焊电源外特性曲线分析	张 义 等	4—39
节能交流电弧焊机的研究	那学忠 等	4—40
传热条件变化的工件TIG焊时的控制模型	武传松 等	4—41
自动电弧焊环缝搭接段的质量控制	姚 舜 等	4—42
微机为基任意波形晶体管弧焊电源的研制	俞尚知 等	4—43
高温用不锈钢波导管的高频TIG焊接	张兆伍 等	4—44
YJ-1型硅整流焊机焊接电流遥控与空载断电装置的研制总结	庄德元 等	4—45
大型核电站燃料元件管局部密封焊接研究	潘万隆	4—46
北江公路桥桥面板埋弧单面焊工地焊接试验	金吉如	4—47
吸入式焊剂烘箱	李志宇	4—48
动铁式交流弧焊机最优化设计计算的研究	常保庆 等	4—49
CO_2 推拉短路过渡电流同步调幅焊接(简称 CO_2 PPM焊)	孙子建 等	4—50
混合气体电弧等离子体的激光干涉诊断法	李俊岳 等	4—51
固定点状态下TIG焊接熔深信号的检测及分析	吴 林 等	4—52
手工电弧焊氧化还原反应动态过程的研究	陈剑虹 等	4—53
焊机动特性影响焊接飞溅的机理研究	蒋力培 等	4—54
熔化极脉冲氩弧焊熔滴过渡运动学及动力学参数测量与处理	程功善 等	4—55
电弧等离子体数值计算(一)	陆依成 等	4—56
焊接电弧形态和电弧温度场	陈球武 等	4—57
TIG电弧的数学模型化的研究	付希圣 等	4—58
关于焊条熔滴表面张力测定的研究	陈剑虹 等	4—59
等离子弧切割中双弧形成过程实质的研究	李廷伟 等	4—60
直流TIG电弧的电流密度	贾昌申	4—61
手工焊熔滴滴状过渡机理的研究	陈剑虹 等	4—62
横向磁场中PC-MIG电弧行为	钱聚瑛 等	4—63
MAG焊时焊丝熔化速度稳定平衡的物理本质	付希圣 等	4—64
焊接电弧力的测定研究	陈剑虹 等	4—65
高频交流矩形波电弧动特性	李树槐 等	4—66

核电站用大直径厚壁不锈钢安装管道的焊接设备研制

西安交通大学 邱凤翔 顾福根 经士农*

核工业部二三公司

摘 要

为了确保核电站主回路管道安装条件下的焊接质量,采用了可靠性好的TIG焊方法,并采用窄间隙焊接工艺以提高生产效率。

本文通过窄间隙焊接电弧的基础研究及相应设备(QMNAZ-500型)的研制,成功地解决了大直径厚壁不锈钢管道窄间隙焊接中剖口内(底部)氩气的可靠保护、剖口侧壁的可靠熔合及全位置焊缝的成形控制问题。

一年多的工艺实践考核表明,该焊机具有较好的基本技术性能,焊接质量好,为我国核电站主回路管道的安装焊接提供了关键的自动焊接设备。

核电站主回路管道因其工作条件苛刻及其工作重要性,通常由大直径厚壁奥氏体不锈钢管道构成,主回路管道的焊接质量将直接影响到核电站工程质量及其安全运行。为了确保主回路管道安装条件下的焊接质量,除了合理选择焊接工艺外,目前国内外都把采用先进焊接工艺与焊接过程的自动化放在重要地位。

通过有关资料的分析研究,认为脉冲TIG焊具有焊接过程稳定性好,焊接质量可靠,焊接过程易于自动化及易于控制安装条件下的焊缝成形等特点,因此这种焊接工艺方法适用于重要性大的大直径厚壁管道的安装焊接。因大直径厚壁管道的焊接周期一般较长,为了提高生产效率,缩短生产周期,采用了先进的窄间隙TIG焊工艺。

对于大直径厚壁管道的安装焊接,有关焊接质量的技术关键是:1、深剖口内(底部)氩气的可靠保护;2、剖口侧壁的可靠熔合;3、全位置焊缝的成形控制。

为了更好地解决上述问题,对深剖口中钨极焊接电弧的气体保护、钨极焊接电弧在窄间隙中的行为及其控制作了基础研究,其要点如下:

一、深剖口中的氩气保护 在深剖口窄间隙中,气流的通道长度较长,而且在坡口边缘,由于存在尖棱角,流速的方向及数值发生激烈变化,使层流结构遭到破坏,导致电弧区的保护明显恶化。

为了比较各种喷嘴结构的保护效果,利用烟气发生器产生的白色烟气通入焊炬,以观察气流的层流情况。经过反复比较摸索,研制出一种在圆柱喷嘴内加侧向气流导板的复合结构喷嘴。由于导流板的作用,层流区可以稳定地延伸到间隙的底部,保护效果良好。

二、钨极焊接电弧在窄间隙中的电场和电流分布 窄间隙中焊接电弧的电场分布方程是三维坐标系中Laplace方程的解。采用图1所示的坐标,可以推导出图2所示的电位分布及电流密度分布。结论如下:

氩柱电位分布方程式:

$$u = u_0 \cos m x \cos p y (O h q z - K s h q z) \quad (1)$$

式中 u_0 —氩柱压降(电弧电压扣除阴、阳极压降)V; m 、 p 、 q —特征值; k —尺寸系数

电流密度矢量在各坐标方向的分量表达式为:

$$j_x = \frac{u_0 m}{\rho} \sin m x \cos p y (O h q z - K s h q z) \quad (2)$$

$$j_y = \frac{u_0 p}{\rho} \cos m x \sin p y (O h q z - K s h q z) \quad (3)$$

$$j_z = \frac{u_0 q}{\rho} \cos m x \cos p y (K O h q z - s h q z) \quad (4)$$

*参加本课题的人员还有王士元、吴唐东、米运卿、刘海伏等。本文由邱凤翔、王士元执笔。

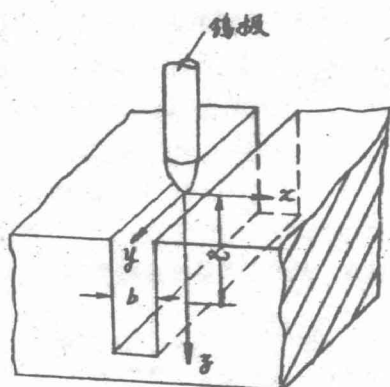


图1 直角坐标系中的电弧场

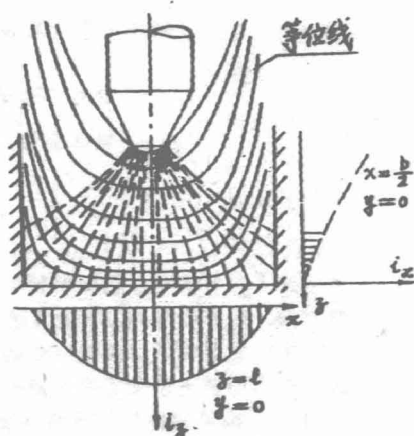


图2 窄间隙中电弧的电位及电流分布示意图

式中 ρ ——圆柱区的电阻率

特征值及尺寸系数按下式确定:

$$m = \pi b^{-1} \quad (5)$$

$$k = i_0 \rho / \pi q u_0 \quad (6)$$

$$\text{th}(ql) = \frac{su_0}{i_0 \rho l} (ql) \quad (7)$$

式中 b ——间隙宽度, i_0 ——焊接电流值, π ——阴极斑点面积, l ——电弧长度。

由式(7)解出 ql 值,代入式(6)解出 k 值。

$$p = \sqrt{q^2 - m^2} \quad (8)$$

为了验证理论模式的正确性,利用分裂阳极差动测量法,对工件底板平面上及侧壁上的电流分布进行了测量[1]。将测得的电流分布函数,经过Abel倒置,即可求得沿测量方向的电流密度分布。

理论分析及实验均证明,在底板和侧壁相交的尖角处电流密度为零,显示出窄间隙效应的特征。当然,在实际施焊时,由于液体金属表面张力的作用,底板与侧壁交角处呈圆弧形。但是由于曲率半径较小,可以推断出此处的电流密度甚低,熔透深度是较小的。上述尖角状的数学模型是其极端情况而言。

研究表明,当钨极氩弧焊的电弧置于窄间隙中时,弧柱中部等位面下降,两侧上升,不再处于轴对称形。在间隙宽度方向受到压缩,在间隙长度方向有所扩展。在侧壁上有一定量的电流流过。可是,底板和侧壁交角处的电流密度始终趋向于零,这是造成窄间隙钨极氩弧焊时侧壁熔合不良的直接原因。

三、窄间隙钨极焊接电弧的磁场控制

为了克服“窄间隙效应和侧壁过热”所引起的工艺困难,可以采用横向磁场使电弧偏转来改善侧壁及交角处的熔透情况。试验结果表明,横向磁场可以改变尖角处的电流密度。磁场方向的周期性转换可以使两侧壁获得满意的熔透。

在窄间隙的情况下,可以采用侧壁与底板上的电流分配率 ξ 来表示电弧的偏转量。

$$\xi = I_1 / I_2$$

式中 I_1 ——侧壁电流, I_2 ——底板电流

对一般非饱和磁路结构的焊炬,可以认为电弧区的磁感应强度与激磁电流成正比,因此可以用激磁电流 I_B 表征磁场强弱。下面归纳了焊接工艺参数与电流分配率 ξ 的试验结果。

(1) 弧长与电流分配率的关系 随着弧长的增加, ξ 略有增加。但是弧长与底部熔透和焊缝成形有关,其调节范围是受到限制的,不能作为一个主要调节参数。

(2) 焊接电流与电流分配率的关系 随焊接电流的增加, ξ 急剧减小,这是由于弧长缩短(在一定的电弧电压下)和电弧深入熔池造成的。当焊接电流达到一定数值时,即使增大激磁电流 I_B ,也无

法增大 ξ 值,出现两侧明显熔合不良的情况。

(3) 激励电流 I_B 与电流分配率的关系 随 I_B 的增加, ξ 明显增加。在窄间隙中由于存在侧壁,弧长并不随着偏转角的增大而连续增长,电弧的极限偏转量大大超过平板时的情况(平板时 $\approx k_F \approx 45^\circ$,相当于 $\xi=1$),因而 ξ 值的范围变化较大。

(4) 间隙宽度与电流分配率的关系 间隙宽度对于电流分配率 ξ 值的影响甚大,在一定条件下,间隙过窄或过宽,都会使电弧偏转困难,并使电弧燃烧很不稳定。因此,磁控摆弧时,间隙宽度应合理选择,例如 $b=9\sim11\text{ mm}$ 是较为合适的。

此外,脉冲电弧进行磁控存在一个电流脉冲与磁场转换相位的配合问题。实践证明:“基值——脉冲”方式(如图3)在工艺上是较为合理的。这种方式的特点是,每次磁场方向改变时,先通基值电流,再转入脉冲电流,即每次磁场方向的转换发生在脉冲电流的结束时刻。由于磁场强度数值恒定,电弧的偏转量与焊接电流的数值有关,随着焊接电流的增大,电弧的挺度随之增加,偏转量相应减少。由电弧的

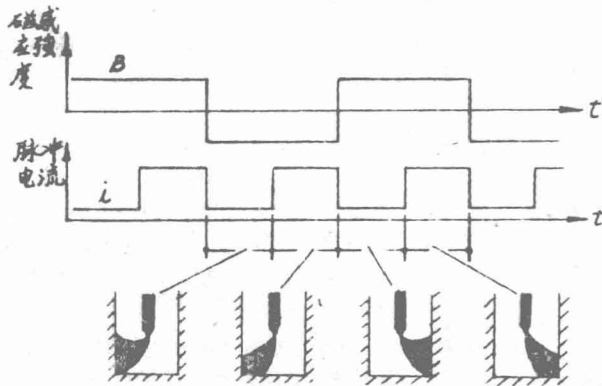


图3 “基值—脉冲”配合方式示意图

中可以看出,在基值电流时期,电弧主要熔在侧壁上,先对侧壁进行加热和预热,当转入脉冲时,电弧挺度增加,阳极斑点下移,使尖角处达到应有的熔透深度。这种配合方式只要规范调节适当,可以满足不同位置施焊的要求。

试验表明,这种相间交变磁场控制的电弧摆动法具有结构简单、调节方便,并能实现多种轨迹控制。而且可引入各种参数的反馈,可以认为是一种较为理想的电弧控制方法。为了实现磁控摆弧,要求焊机具有导磁和导气的双重功能。

在上述基础上,研制出一台自动化程度较高、控制功能齐全的QMNAZ-500型专用焊机^[2]。该焊机由三部分组成。

1、脉冲焊接电源:能调节脉冲电流 I_m ($0\sim400\text{ A}$)和基值电流 I_B ($30\sim400\text{ A}$)的数值,脉冲频率调节范围为八档($0.5、1、2、3、5、10、50、100\text{ Hz}$),占空比为 $\frac{1}{4}、\frac{1}{2}、\frac{3}{4}$ 三档,并用焊接电流的逆增加衰减控制等。

2、焊接机械装置:回转机构为卡环式结构,具有装夹方便、整体性好等优点。机头部分固定在端轮盘护板上,其上固定焊炬,可作径向(100 mm)和轴向(30 mm)调节。护板上还安装有焊丝盘和送丝调节机构,与机头对称配置。焊管直径 D_{max} 为 900 mm , D_{min} 为 650 mm 。焊接速度范围为 $40\sim600\text{ mm/分}$,上坡和下坡焊速差小于 $\pm 5\%$ 。采用步进送丝速度范围 $0\sim1000\text{ mm/分}$,并与脉冲电流同步。

3、电气自动控制系统。

为了控制全位置焊缝成形,焊机控制部分除了满足一般自动TIG焊工艺要求外,针对大直径厚壁管的全位置焊接的特点,增加了如下的控制电路:

(1) 程控数码显示电路

(2) 焊接规范的位置切换电路 可以在全位置八个点上预置脉冲峰值电流、基值电流、电弧电压、焊接速度和送丝速度五个规范参数，并有指示灯显示相应的空间位置。同时，利用模八计数器显示焊炬行程。每焊完一曲，向模十计数器进位显示焊缝层数。

(3) 磁控摆弧电路 磁控电路的磁场激磁电流由单相交流经桥式整流，并由两只大功率三极管轮流导通产生交变磁场。通过电位器可分别调节激磁电流的数值，并可通过拨键开关的不同位置，实现焊接电弧摆动或偏向一侧（左或右均可）的两种施焊方法。工艺试验表明，电弧摆动频率为脉冲电弧频率的二分之一时，可以获得良好的焊缝成形。

(4) 脉冲弧压自动控制电路 在脉冲TIG焊中，为了克服电弧电压随电流脉动变化带来的困难，弧压控制线路采取以下措施。

a、弧压讯号的采样应为间歇式，只在脉冲电流期间弧压讯号采样，而在维弧期间停止采样。这是因为在脉冲电流期间，电弧偏转角小，电弧电压能真实地反映电弧长度。

b、脉冲期间的弧压讯号，必须除去前冲刺和滤平因六相可控整流产生的脉动。

c、采样保持讯号与电弧电压之间应具有可逆的联系，因为弧长的变化，可能使前一次采样保持讯号大于或小于后一次采样讯号。

(5) 焊炬自动对中电路 在窄间隙条件下，利用基值电弧电压采样自动对中，获得了很好的控制效果。这是因为在一定条件下，基值电弧电压反映了钨极到侧壁的距离。只要比较两侧的电弧电压，就可以获得钨极是否对中的讯号。这就是利用基值弧压采样进行自动对中焊接的基本原理。

(6) 焊接速度控制电路 为了使焊接速度平稳、波动小，要求电机具有平硬的输出特性。为此，在控制电路内设有电压负反馈和调速反馈等环节。为了满足工艺要求，控制电路还具有正反转、快速返回、点动等功能。

(7) 步进送丝控制电路 采用了步进送丝使焊丝送进与脉冲电流同步。为此，在步进电机控制电路的OP脉冲输出电路上串入了开关电路，其开关状态由焊机的脉冲讯号源控制。改变OP脉冲的频率，就能调节送丝速度。此外，送丝系统还具有焊丝退出、焊丝点动送进与退出、脉冲步进送丝或连续送丝等功能。

对于已研制成功的QMNAZ-500型全位置自动TIG焊机，通过一年多的焊接工艺实践考核^[3]，共焊接了大型奥氏体不锈钢管道 $\varnothing 720 \times 12$ mm的接头对口6个， $\varnothing 670 \times 65$ mm的接头对口4个，折合单道焊缝总长度在340 m以上。工艺试验表明，该焊机具有较好的技术性能，成功地解决了大直径厚壁不锈钢管道全位置窄间隙TIG自动焊的主要技术关键。

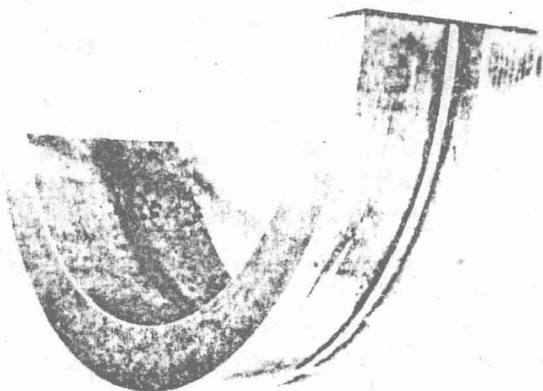


图4 $\varnothing 670 \times 65$ mm不锈钢管道的焊缝外形

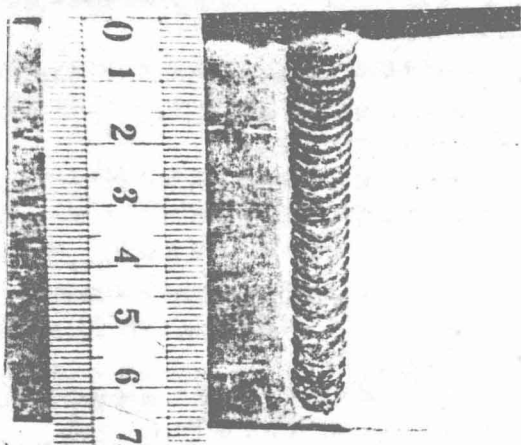


图5 $\varnothing 670 \times 65$ mm不锈钢管道的焊缝断面

图 4、5 为 $\phi 670 \times 65$ mm 的 18-8 型奥氏体不锈钢管道的焊缝外观照片和焊缝宏观断面照片。从上述照片可见，焊缝两侧熔合良好，焊缝宽度从下至上为 9~12 mm，整个焊缝的层数为 30 层，焊丝选用 $\phi 1.6$ mm 的不锈钢焊丝。不同位置焊层的自动焊接规范如表 1 所示。

表 1 不同位置焊层的自动焊接规范参数

焊层位置	焊道次序	基值电流 (A)	脉冲电流 (A)	脉冲电压 (V)	焊接速度 (mm/分)	送丝速度 (mm/分)	气流量 (升/分)
底 层	第一焊道	80~90	200~220	14~15	45~50		25~30
	第二焊道	90~100	210~230	15~16	45~50	400~470	25~30
中 层	中间各道	95~110	230~260	15~17	50~60	400~530	25~30
面 层	倒数第二道	70~80	230~240	15~16	60~65	400~500	20~25
	倒数第一道	60~70	200~220	15~16	60~65	400~500	20~25

参 考 文 献

- 1、吴启东 《钨极焊接电弧在窄间隙中的行为及其控制》(研究生毕业论文) 西安交大, 1984
- 2、西安交通大学焊接教研室 QMNAZ-500 型全位置脉冲自动钨极氩弧焊机研制总结 1983, 13
- 3、核工业部二二公司 大型厚壁不锈钢管道窄间隙脉冲钨极氩弧全位置自动焊的工艺与质量 1985, 4

清华大学 潘际豪 张人豪 迟智明 吴志强

摘 要

作者提出了一种新颖的脉冲 MIG 焊接电弧控制法 (QH-ARC SYSTEM 103)。与一般的开环控制强制脉冲或提取电弧讯号闭环控制的脉冲弧焊不同,它利用具有扫描斜率的多折线外特性的三极管电源实现自适应控制。脉冲参数能够依照送丝速度自动优化,始终保持喷射过渡及稳定的弧长,具有很高的动态品质,能抗任何原因引起的弧长扰动,电弧稳定,飞溅极少,焊接电流范围宽广,对半自动焊尤为适用。焊接工艺效果显著,实现了脉动送丝新工艺,能用于熔透控制、按能量控制及成型控制,而其最大潜力则在于机器人焊接。

这种焊接电弧控制法不仅适用于钢的 MIG 焊接,在 CO_2 焊接及 MIG 焊铝方面也显示了独特的优越性。

一. 问题的提出

长期以来,人们普遍认为弧焊电源不言而喻不是下降特性的便是平特性的。当弧长受外界扰动(如送丝不稳、焊炬晃动、工件不平整等)时,电弧应有足够的自调节能力。就此而言,平特性优于下降特性。但从熔滴过渡恒定及其对焊接质量的影响来看,则平特性不如下降特性。既要使电弧具有足够的弧长自调节能力,又要保持恒定的熔滴过渡,这是需要解决的第一个矛盾。

由于 MIG 焊的规范受喷射过渡临界电流的限制,近年来已广泛代之以脉冲 MIG 焊接。它的电流适用范围要宽广得多,然而这种焊接方法的规范参数较多,送丝速度要求与脉冲参数严格配合。因此焊接规范调节起来过于复杂,使用不便。并且抗弧长扰动能力不足,要求送丝速度高度稳定。

为克服上述脉冲 MIG 焊的问题,国外作了很大的努力与尝试,研制更精良的控制装置。^{[1][2]}取得了不少成绩,然而各有其局限性。

1979 年以来,清华大学研究发展了一种脉冲 MIG 焊接电弧的控制法,称为 QH-ARC 法^[3],实现了焊接电弧的闭环控制^[4]。并在此基础上又进一步提出了脉冲 MIG 焊接电弧的自适应控制称为 QH-ARC SYSTEM 103,研制了 TSAD 脉冲 MIG 焊机。脉冲参数依照送丝速度而自动优化,具有很高的动态品质,当发生送丝速度变化或其他原因引起的弧长扰动时能够自动保持弧长稳定及最佳的喷射过渡,实现了脉冲焊接规范的单旋钮调节,便于操作。

二. 工作原理

1. 多折线外特性

与一般的开环控制强迫脉冲或取电弧讯号反馈控制不同,脉冲电弧的自适应控制是通过三极管电源的外特性来实现的。采用的三极管电源具有图 1 所示的外特性,它的各线段的作用分述如下:

a 点为空载电压。

bc 段用以控制维弧电流幅值。它与纵坐标有一倾斜夹角,即电弧在维弧阶段时若弧长愈大或电弧压降愈高则维弧电流也将愈大些。这对稳弧有重要作用。

cd 段用以决定弧长。虽然它的斜率大于电弧伏安特性的斜率,尽管电弧的工作点不能在这上面保持稳定,然而却不足以使工作点在 c、d 点间往返快速跳跃。实际上这段静态外特性在焊接过程中也并不出现,其具体的动态过程将在下节叙述。

de 段用以使电弧保持恒定的脉冲电流幅值。

ef 段及 fg 段用以控制短路电流以保证短路起弧。

2. 扫描外特性

为使电弧的工作点在脉冲电流与维弧电流间快速跳变,采用了特殊的扫描动态外特

性,如图1所示。众所周知,当焊接电源外特性的斜率大于电弧伏安特性的斜率时,电弧工作点移动的速度将取决于此两斜率的差值,相差愈大则移动愈快。为此使静态外特性cd段在动态变化时分别绕c或d点改变斜率。

当电弧工作点下移而到达bc段与cd段交点的瞬间,cd段先以逆时针方向快速扫描,造成很大的斜率使电弧工作点迅速跳离c点。然后再顺时针方向扫回静态点而电弧则工作于d'点。继而,若电弧工作点上移而到达cd段与de段交点时,cd段又以顺时针方向扫描,再以逆时针方向绕d点扫描,使电弧工作点迅速地由d跳到c'。电弧工作点在脉冲与维弧间跳动的轨迹示于图2。

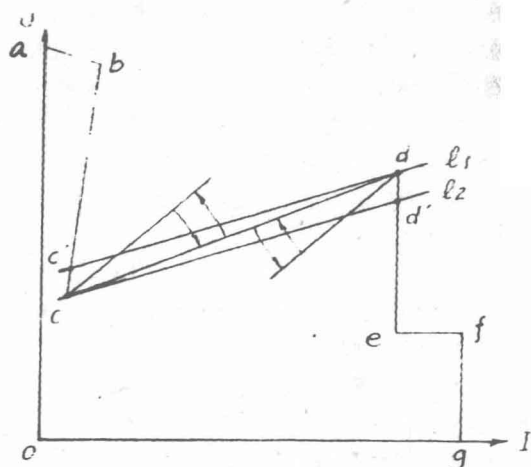


图1 TSAD脉冲MIG焊机的外特性

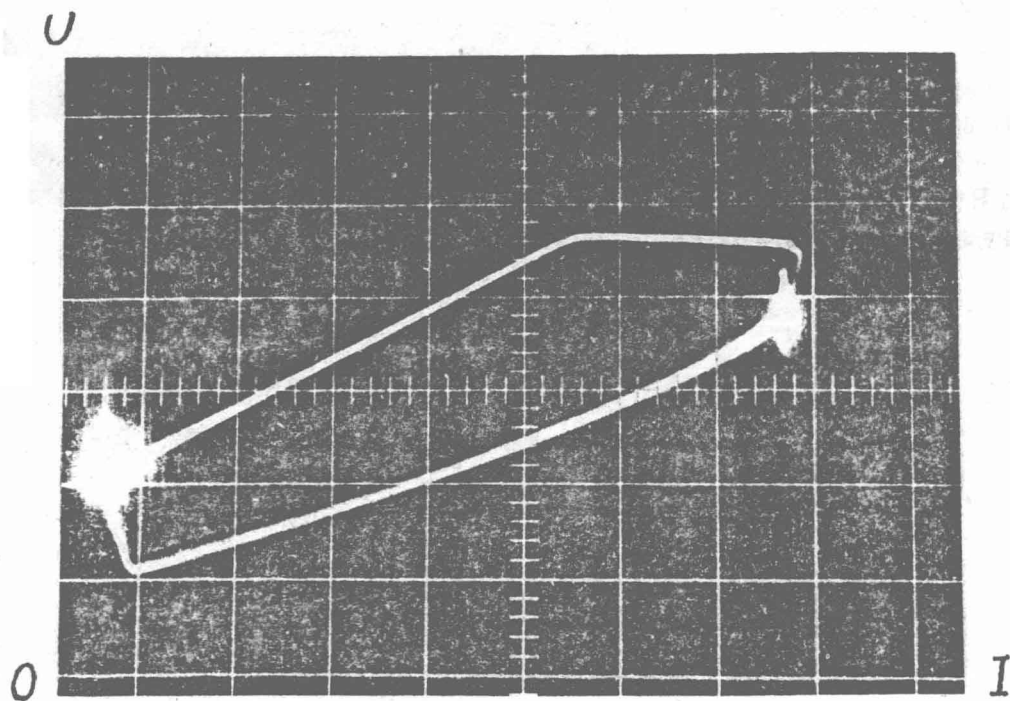


图2. 电弧工作点的轨迹

3. 弧长自动控制

多折线外特性具有弧长自动控制作用,仍以图1来说明之。若弧长为 l ,而电弧工作点处于此时维弧电流很小,虽维持电弧稳定燃烧,却不产生熔滴过渡。于是弧长趋小而弧压降低。电弧工作点一旦降到bc段与cd段交点时,由于动态扫描作用便立即从c跳到d'。这时焊接电流变得很大,产生喷射过渡而电弧电压升高。待电弧工作点到达cd段与de段交点时又由于扫描作用而迅速从d跳到c'。这些过程自动地重复进行,保持一定的弧长,电弧工作点在脉冲与维弧间不断

跳动而焊丝熔化速度与送丝速度之间的平衡则得以自动维持。

综上所述,这种自适应控制法的特点可归纳如下:

1. 焊接电弧能随时确定脉冲时间及维弧时间,使得在很宽的电流调节范围内脉冲频率改变不大,因此能适应送丝速度的任意变化并能迅速响应任何因素引起的弧长扰动而维持电弧稳定,飞溅极少。
2. 弧长可精确地自动控制,其值由多折线外特性上C点的参数调节,以使脉冲频率尽量高而脉冲时间不低于2.5毫秒为度。
3. 脉冲阶段电弧工作在恒流条件下,脉冲中电流幅值由de段的参数来确定,因而可以保持最佳的喷射过渡状态。

三. 焊接效果

用直径为1.0、1.2、1.6毫米的08Mn2Si镀铜焊丝在Ar85%+CO₂15%混合气体保护下以及用直径为2.0毫米的铝焊丝在纯Ar保护下进行大量的焊接试验研究工作,获得了良好的工艺效果,分述于下。

1. 焊接结果表明,在很宽的电流范围内均能实现喷射过渡,电弧高度稳定,飞溅极少。各种直径焊丝的焊接电流范围如表一所示。

表一. 焊接电流范围

焊丝直径(mm)	本控制法采用的焊接电流(A)
1.0	45—220
1.2	60—320
1.6	80—360

2. 焊接过程稳定,焊缝成型优良。图3为用1.2毫米焊丝在6毫米钢板上堆焊的焊缝外观。脉冲电流为380安,维弧电流为25安。



图3 焊缝外观

3. 在正常焊接过程中,当遇到随机干扰时,脉冲参数会自动优化以克服之。图4为电弧电压及焊接电流的波形。由图可见,脉冲电流幅值恒定,脉冲时间及维弧时间则自动改变以保持

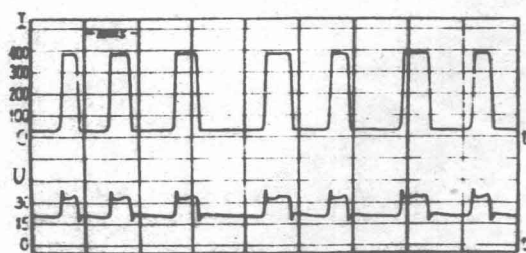


图4 电弧电压与电流的波形

弧长稳定而脉冲时间均大于2.5毫秒从而保证喷射过渡。

4. 能抗弧长剧烈扰动。通过模拟弧长扰动试验,证明动态品质良好。当突然改变焊炬至工件的距离时,电弧非常稳定,没有引起任何飞溅。图5为工件表面极端不平整的情况下所焊的焊缝外观。

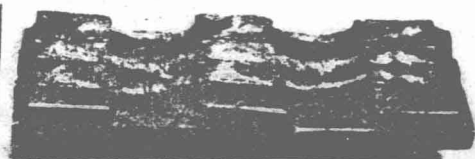


图5 工件不平时所焊的焊缝

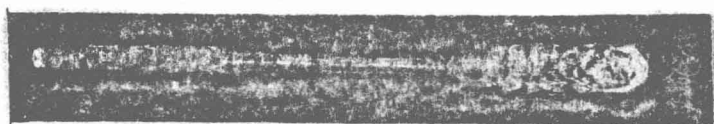


图6 送丝速度改变时所焊的焊缝

5. 电弧参数能随送丝速度的改变而自行优化。这对脉冲MIG的半自动焊有很大的实用意义, 可以克服软管送丝的不稳定因素。图6为送丝速度大幅度改变时的焊缝外观。也证明焊接规范的单旋钮调节。

6. 可以实现脉动送丝焊接新工艺。脉动送丝时焊接规范会自适应地变化, 为熔透控制、线能量控制提供了新的手段。

图7为焊缝外观。图8为电弧电压及电流的波形。可见在高速送丝时脉冲较密, 低速送丝时脉冲较疏而脉冲中值则是恒定的。

7. 可以单面焊双面成型而背面不需任何衬垫(脉动送丝焊接)。图9为4毫米钢板不

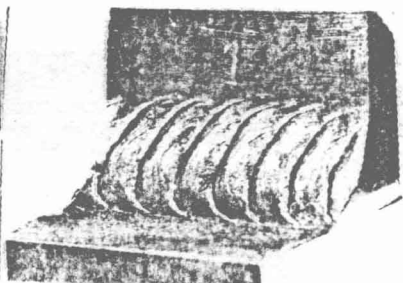


图7 脉动送丝焊缝外观

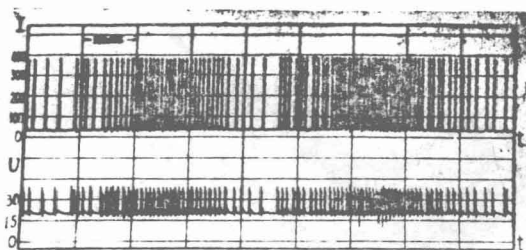


图8 脉动送丝时的电弧电压与电流

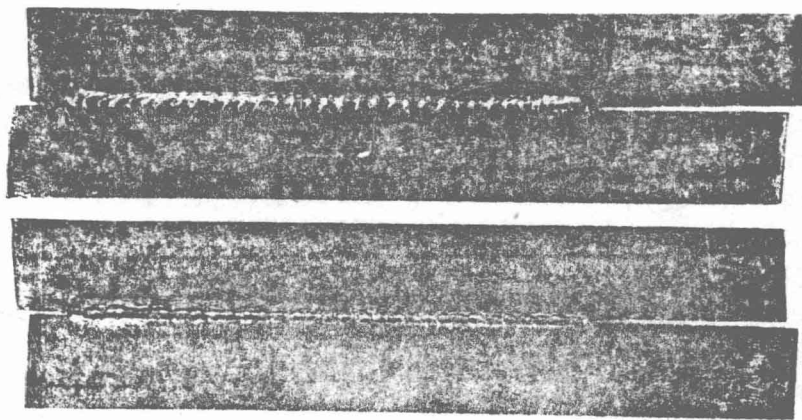


图9 对接焊缝的正面及背面

4. 坡口对接, 上图为焊缝正面外观, 下图为背面熔透情况。

8. 可用粗丝小电流喷射过渡焊接薄板。图10为1毫米钢板对接缝的外观, 上图为正面, 下图为背面。焊接电流为45安, 焊丝直径为1.2毫米。

9. 可以改善焊缝成型。图11为角焊缝船形焊的剖面, 焊缝表面呈凹形而两侧过渡极为圆滑。此外, 对指状熔深亦有所改善。

10. 有利于空间位置焊接。图12为角焊缝水平焊的剖面, 上部无咬边, 下部无流淌, 焊缝成型良好。

11. 可以喷射过渡焊铝, 焊接电流范围宽广。焊丝直径为2毫米时, 电流自65安至350安。

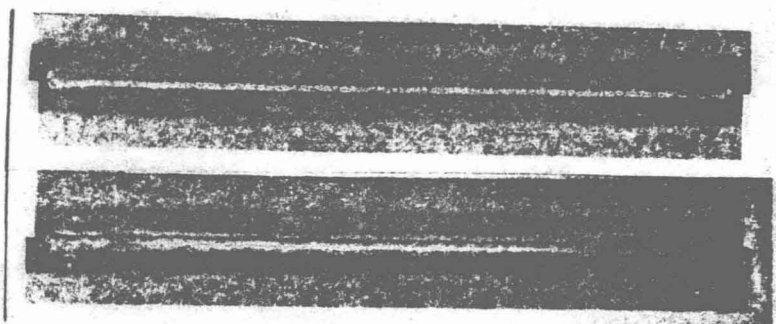


图10 薄板对接焊缝的正面及背面



图11 船形焊的焊缝(板厚8mm)

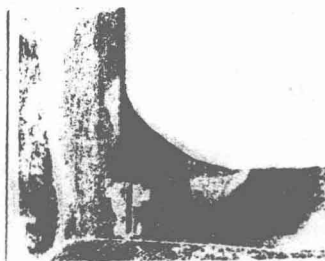


图12 角焊缝剖面

四. 结论

脉冲MIG焊接电弧的自适应控制是一种新颖的控制方法。它与现有的开环控制及闭环控制不同,它是利用焊接电源的多折线外特性来实现的。既可以用于焊接钢材,也可以用于焊铝,还可用于进行CO₂焊接。采用这种方法的优点如下:

1. 焊接电弧稳定,飞溅极少。
2. 在很大的焊接电流范围内均能实现喷射过渡。
3. 调节焊接规范方便,仅需单旋钮调节送丝速度,便于操作。
4. 弧长可以事先设定,调节方便而无需变动其他规范参数。
5. 对任何因素导致的弧长变化均具有很高的抗干扰能力及动态响应性能。
6. 可以实现脉动送丝焊接新工艺。
7. 可以实现程序送丝焊接。
8. 可用以实现熔透控制。
9. 可以控制焊缝成型。
10. 可以控制焊接线能量。
11. 可用于机器人焊接。

参考文献

1. M.Amin: Synergic Pulsed MIG Welding, Metal Construction, Vol.13, 1981.No.6, P349.
2. Ueguri et al: Pulse Arc Welding Machine, European Patent Application, Publication No.0043589.
3. 潘际銮等: 新的焊接电弧控制法, 焊接学报, 第1卷, 1980年, 第4期, 第205页。
4. 潘际銮等: 脉冲MIG焊接电弧的闭环控制, 焊接学报, 第6卷, 1985年, 第2期, 第91页。

双丝窄间隙埋弧焊工艺及设备的研究

哈尔滨焊接研究所 林尚杨 杨书田 陶伯华

摘 要

在国外单丝窄间隙埋弧焊的基础上,研制了双丝窄间隙埋弧焊工艺及设备。它是一种机—电—仪一体化的,全部自动化的新型埋弧焊设备。试验表明,它能明显提高焊接生产率,降低能源和焊接材料的消耗。焊接钢板厚度可达250mm。该工艺推广应用将有助于进一步提高大型压力容器及厚板焊接结构的焊接质量。

前 言

随着工业技术的发展,压力容器的筒壁越来越厚。这些厚壁容器的焊接,采用常规的U形坡口,焊接工作量很大。为了适应这个发展趋势,窄间隙埋弧焊于七十年代中期在国外迅速发展起来。国外单丝埋弧焊设备自动化水平比较高,能改善焊接接头的质量及机械性能,但也存在下列不足之处:

1. 焊接生产率较低,焊丝的熔化率一般在 $5\text{ g}/\sqrt{\text{h}}$ 左右,而常规的埋弧焊($\varnothing 4\text{ mm}$ 焊丝)为 $8\sim 9\text{ g}/\sqrt{\text{h}}$;
2. 热输入量的调节范围狭窄,一般在 $1.3\sim 2.3\text{ kJ}/\text{mm}$ 之间;
3. 热源集中在坡口的侧壁附近,不利于对前一层的焊缝金属和热影响区进行热处理,以改善这些区域的组织;
4. 为了保证焊缝与侧壁的焊缝,焊丝必须指向侧壁,因而不利于改变焊道的宽度和改善焊缝成型。

窄间隙技术是当前的发展方向。目前国外的单丝窄间隙埋弧焊技术还很“年轻”,上述问题有待进一步改进。

双丝窄间隙埋弧焊方法简介

我所研制的双丝窄间隙埋弧焊机包括机头、控制柜、电源及工件转胎(滚轮架)等四大部分。机头部分的示意图示于图1。图2为机头插入窄间隙坡口中进行焊接时的示意图。从图2可以看出,机头从左向右排列着高度(二轴方向)传感器。双侧横向(一轴方向)跟踪传感器。焊剂送入管、前丝(弯丝)焊咀、后丝(直丝)焊咀及焊剂回收管。

双丝窄间隙埋弧焊采用双丝串联方式,前丝向焊接前进方向倾斜并指向侧壁,与侧壁的夹角 β 一般为 $4^\circ\sim 5^\circ$ 。前丝端头与侧壁的距离 δ 较小,一般为 $1.5\sim 2.5\text{ mm}$ 。后丝垂直向下,端头与侧壁的距离 Δ 较大,一般为 $6\sim 7\text{ mm}$ (图3)。

前丝接直流电源(DCRP)以保证焊道与侧壁的良好熔合,后丝接交流电源以防止两个电弧的相互干扰。由于后丝是在直丝形成的熔触状态熔池上燃烧的交流电弧,故焊接过程相当稳定。焊接是按一层两道的方式进行的。两根焊丝先沿坡口的一侧进行焊接,并由横向跟踪传感器及高度传感器分别来控制焊丝在坡口中的位置及伸出长度。当焊接环绕时,沿坡口一侧焊满一周,并搭接一段长度后,两个焊咀分别摆向坡口的另一侧。前丝主要作旋转运动,后丝只作横向移动。前丝摆头后由另一侧的横向跟踪传感器的触爪来控制焊咀跟踪坡口的位置变化,并保证两根焊丝的端头与另一侧壁的距离亦分别为 δ 与 Δ 。由于采用了一层两道的布置方式,对焊剂无特殊要求,用一般的350型焊剂就能满足使用要求。当采用我所专门研究的SJ-2型窄间隙埋弧焊专用熔炼焊剂时,则更为优越。

由于整个设备采用了多种传感器及微电子技术进行自动控制,故焊接过程无需焊工作任何调节,该设备能自动进行焊接,从坡口的底部一直焊到顶部。因此,它是一种自动化水平较高的机—电—仪一体化的焊接设备。

双丝窄间隙埋弧焊的主要优点

为了验证“双丝”方案的优越性,进行了五组对比性试验。

1. 焊接热循环试验

数据是在20mm厚的16Mn钢板上作表面堆焊时测定的。试板没有预热,试验条件及母材过热区冷却速度测试结果列于表1。过热区的热循环曲线示于图4。

• 参加本课题工作的还有:杨文佩 王瑞琦 朱 铮 亢雅禄 宋润双 孟万军等人

表 1

不同条件下母材过热区冷却速度测试结果

编号	焊接方法	焊接电流 (A)	电弧电压 (V)	焊接速度 (mm/s)	线能量 (KJ/mm)	电源极性	910℃以上停留时间 (S)	$t_{8/5}$ 冷却时间 (S)	备 注
A1	单丝(Φ3mm)窄间隙埋弧焊	400	36	25	1.95	DCRP	6.6	9.5	AL-ESAB公司推荐
A2	单丝(Φ4mm)常规埋弧焊	680	35	25	3.23	AC	11.0	26.0	常规埋弧焊参数
A3	双丝(Φ3mm×2)窄间隙埋弧焊	400	34	32	2.87	AC	9.0	19.0	本试验选用参数
		300	32			DCRP			

从表 1 中可以看出,按 ESAB 公司推荐的参数(A1),母材熔合线附近的 900℃ 以上的停留时间及 $t_{8/5}$ 都很短,分别为 6.6S 和 9.5S。在这个冷却速度下对某些低合金高强钢可能得到 100% 的马氏体组织,而使抗冷裂能力降低。常规埋弧焊的参数(A2),虽然 $t_{8/5}$ 长达 26S,对提高抗冷裂性有利,可是 900℃ 以上的停留时间也长(11S),这可能使某些钢种的抗热裂性能(指结晶裂纹、液化裂纹和高温低塑性裂纹)有所下降。双丝焊时(A3),正好介于两者之间,在高温区,其冷却速度接近单丝窄间隙埋弧焊(图 4),而在低温区趋向于常规埋弧焊,具有比 A1 好的抗冷裂性,比 A2 好的抗热裂性,即综合抗裂效果更好。

2、热影响区宽度试验

一般希望焊接接头母材热影响区的粗晶区宽度窄些,以利于改善接头的机械性能。用上述三种工艺方法进行了焊接试验,截取接头的横截面,以钢板厚度的中部为准,测量母材过热区、正火区(不包括不完全正火区)的宽度。试验条件及测量结果示于表 2。

从表 2 中可以看出,B2 和 B3 的单位线能量都是 2.9KJ/mm,可是 B3 的过热区宽度(1.15mm)显然比 B2 (0.88mm)大,说明在相同热输入的条件下,常规埋弧焊对母材性能的损害比双丝窄间隙埋弧焊大。若将 B1 和 B2 对比,可以清楚地看出,随着单位线能量的增加

表 2 不同条件下母材热影响区宽度测量结果

编号	焊接方法	钢板牌号	厚度 (mm)	I (A)	U (V)	V (mm/h)	Q (KJ/mm)	母材过热区宽度 (mm)	母材正火区宽度 (mm)
B1	双丝(Φ3mm×2)窄间隙埋弧焊	16Mn	40	300	32	30	2.1	0.53	0.93
B2	同上	16Mn	40	300	32	25	2.9	0.88	1.53
B3	单丝(Φ4mm)常规埋弧焊	16Mn	40	600	34	30	2.9	1.15	2.15
B4	单丝(Φ3mm)窄间隙埋弧焊	BH-W-35	50	360	31	25	1.6	0.93	1.60

母材过热区和正火区的宽度都有比较明显的增大。可是, B1 和 B2 的热输入比采用单丝窄间隙埋弧焊的 B4 分别高 30% 及 80%, 但过热区的宽度反倒比单丝窄间隙埋弧焊的小。这个结果表明,真正对母材热影响区宽度有影响的,不是电弧的总能量,而是母材的热输入。母材的热输入与电弧的位置有很大关系,例如 B2 的线能量为 B4 的 1.8 倍,但由于双丝窄间隙埋弧焊时只有一根焊丝是指向侧壁的,并距侧壁较近;另一根焊丝是垂直向下,距侧壁较远,对母材热影响区宽度影响较小。故母材(侧壁处)的热输入主要决定于弯丝的电能能量。可以认为,双丝窄间隙埋弧焊时,仅有 50~55% 左右的电弧总能量影响母材热影响区的宽度。所以,选择“双丝”的方案,虽然总的电弧能量比“单丝”的高,但是对母材性能的损害,两者基本相同,甚至“双丝”焊比“单丝”窄间隙埋弧焊还小些。这点是很值得注意的。

3、热影响区组织试验

多道焊时,由于后焊道对已焊的焊道和热影响区有热处理作用,所以接头中热影响区的组织及分布情况和单道堆焊时不同。焊道愈薄,原过热区组织被细化的程度就愈大。因此,若能获得宽而薄的焊道,就能明显地改善多道焊焊缝金属及热影响区的组织状况。

双丝窄间隙埋弧焊,由于两根焊丝的轴线在焊接方向上并不重叠,而是分开一定距离,所以焊道较宽(17mm 左右),而且较薄(约 3mm)。用双丝窄间隙埋弧焊焊接的 16Mn 钢接头的热影响区组织示于图 5。从图中可看出粗晶区已成为大刀状的孤立“岛”,而相当一部分紧靠熔合线的原过热粗晶区,已被正火细化。

对常规埋弧焊及双丝窄间隙埋弧焊接头各区的金相组织进行了对比(图 6)。从图 6 可看出,双丝窄间隙埋弧焊的过热区组织及焊缝金属中的一次结晶组织与冷却转变组织,都比常规埋弧焊细得多。