

管子对接全位置 TIG 氩弧内焊工艺研究

机械科学研究院 哈尔滨焊接研究所(150028) 费大奎 张 焱 于 丹 杜 兵

摘要 对于壁厚为 4 mm 的小口径管道 TIG 全位置对接内焊,采用氩弧焊 I 型坡口单面焊双面成型。结合试验,通过对峰值电流、基值电流、焊接速度、电弧电压的优化,解决仰焊焊缝塌陷及下坡焊未焊透的问题,得出最佳工艺。最佳工艺分为 4 个区,焊接速度 75 mm/min、峰值电流 114 ~ 130 A、基值电流 58 ~ 62 A、送丝速度 0.45 ~ 0.6 m/min、电弧电压 13.4 ~ 14.0 V。试验表明,在管道全位置 TIG 对接既不能外焊又不能摆动的前提下,氩弧内焊不失为一种理想选择。

关键词: TIG 全位置焊 氩弧内焊 焊缝塌陷
中图分类号: TG422

0 前 言

奥氏体不锈钢因其优良的力学性能和耐腐蚀性能在汽车、能源、化工、国防及核工业等领域内得到了广泛的应用。0Cr18Ni10Ti 不仅强度高而且具有很好的韧性和焊接性,因此是一种重要的反应堆工程管道材料^[1-2]。目前该材料应用于某核压力容器外侧安全端与主换热器内侧不锈钢管的对接。由于压力容器外部管道交错无法外焊,因而只能选择内焊。由于待焊产品结构空间的限制,焊接设备无法摆动,氩弧焊开 V 型或者 U 型坡口都无法解决侧壁熔合问题。考虑到氩弧热量不如氩弧集中,采用氩弧焊开 I 型坡口就能保证单面焊双面成型,避免氩弧焊因设备不能摆动造成的侧壁未熔合现象,因而选择氩弧内焊。管子对接全位置以往都是采用外焊,内焊目前属于国内首次,即使是国外也未见文章报道。内焊属于盲焊,在焊接过程中观察不到弧光、熔池,无法对焊接工艺进行实时修改。因此研制出内孔焊设备及配套焊接工艺具有重大创新意义及经济价值。文中采用全位置 TIG 氩弧内焊的方法,重点研究焊接电流、焊接速度、电弧电压对仰焊焊缝塌陷趋势和下坡焊焊透性的影响。

1 试验材料及设备

1.1 试验材料

试验母材为 0Cr18Ni10Ti,管子规格 $\phi 57 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$,其主要化学成分如表 1 所示。采用焊丝 ER308L,规格 $\phi 1.0 \text{ mm}$,主要化学成分如表 2 所示。

表 1 母材 0Cr18Ni10Ti 主要化学成分(质量分数,%)

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Ti
0.040	0.45	1.03	0.010	0.028	18.20	9.30	0.25

表 2 ER308L 焊丝主要化学成分(质量分数,%)

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Nb
0.010	0.42	1.51	0.002 9	0.003 7	20.15	10.23	0.006 5

1.2 试验设备

全位置 TIG 内焊专机电源采用的是 Fronius 公司的 TT4 000 逆变电源,送丝机配套采用 Fronius 公司的 KD1 500 送丝机。该套设备具有弧压自动跟踪功能,弧压精度可调为 0.3 V。起弧以后,焊枪围绕工件旋转 370°,送丝机自动送丝完成整个焊接过程。机头焊接位置见图 1。

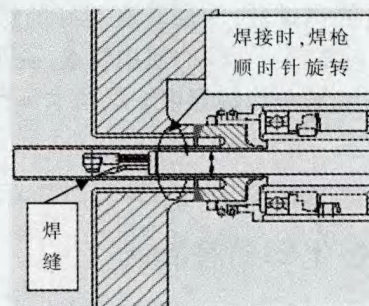


图 1 机头焊接位置

2 试验结果与分析

在全位置焊接过程中,在不同位置由于熔池受到

的重力、表面张力、电弧力的综合作用是不一样的,因此要对工艺进行分区。将整个接头分为以下4个区:①6~9点上坡焊区;②9~11点上坡焊与仰焊过渡区;③11~3点仰焊区;④3~6点下坡焊区,分区示意图如图2所示。起弧点位于6点钟位置,工艺参数见表3。

焊后检查发现:0°~150°区间属于上坡焊和上坡焊与仰焊的过渡区,这两个分区全部焊透,焊缝背面熔宽4 mm;150°~230°区间属于仰焊,在该位置焊缝存在塌陷现象,如图3所示,在正12点位置达到最大值,经测

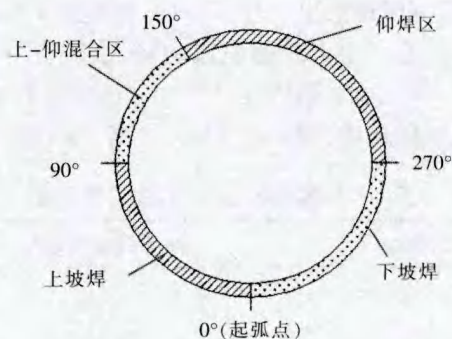


图2 全位置TIG氩弧内焊工艺分区

表3 氩弧焊工艺参数

分区角度 (°)	焊接速度 $v/(\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$	峰值电流 I_p/A	基值电流 I_b/A	送丝速度 $v_{\text{送}}/(\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$	电弧电压 U/V
0~90	80	135	60	0.45	14.0
90~150	80	130	60	0.45	14.0
150~270	80	118	60	0.60	13.8
270~370	80	110	60	0.60	14.1

量塌陷深度为0.5 mm;230°~280°区间全部焊透,焊缝背面熔宽3.8 mm;280°~360°区间属于下坡焊,未焊透,,如图4所示。经分析,该焊缝存在以下两个问题:①仰焊焊缝塌陷严重,最大塌陷处深度达到0.5 mm,超出验收标准中的规定值0.2 mm;②下坡焊未焊透。以下分别从焊接电流、焊接速度、电弧电压3个方面阐述其对仰焊焊缝塌陷和下坡焊焊透性的影响。

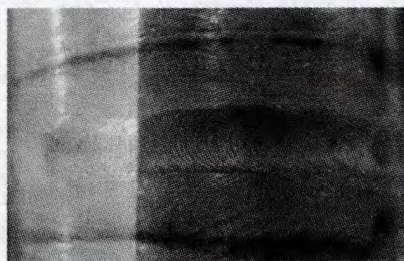


图3 仰焊焊缝塌陷

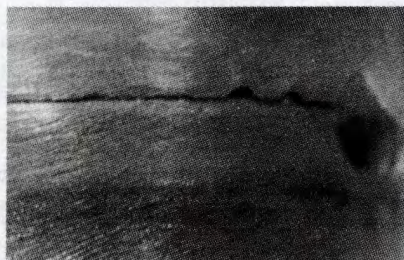


图4 下坡焊未焊透

2.1 仰焊焊缝塌陷

2.1.1 峰值电流对仰焊焊缝塌陷趋势的影响

保持表3其他参数不变,调整仰焊位置峰值电流进行整圈焊接试验,仰焊焊缝外表面塌陷如表4所示。经分析:焊缝塌陷属于热输入较大造成的,随着峰值电流的递增,熔融状态的焊缝金属温度逐渐增高,金属的流动性也逐渐加大,在仰焊位置受重力作用下,焊缝塌陷趋势也逐渐加大。试验结果表明:随着峰值电流的递增,仰焊焊缝塌陷趋势逐渐加大。

表4 不同峰值电流下的仰焊焊缝塌陷

峰值电流/A	仰焊焊缝塌陷/mm
109	无
112	无
115	无
118	0.4
121	0.7

2.1.2 基值电流对仰焊焊缝塌陷趋势影响

保持表3其他参数不变,调整仰焊位置基值电流进行整圈焊接试验,仰焊焊缝外表面塌陷如表5所示。经分析:基值电流控制熔宽,因此增大基值电流会使焊缝宽度加大。由于其他参数不变,因此电弧力几乎不

变,当焊缝宽度逐渐增大时,单面面积焊缝上受到的电弧力逐渐减小。再者基值电流的增大,也会导致热输入的增大,因此塌陷趋势逐渐加大。试验结果表明:随着基值电流的递增,仰焊焊缝塌陷趋势逐渐加大。

表 5 不同基值电流下的仰焊焊缝塌陷

电流/A	仰焊焊缝塌陷/mm
54	无
56	无
58	无
60	0.5
62	0.8

2.1.3 焊接速度对仰焊焊缝塌陷趋势影响

保持表 3 其他参数不变,调整仰焊位置焊接速度进行整圈焊接试验,仰焊焊缝外表面塌陷如表 6 所示。经分析:焊缝塌陷属于热输入过大现象,随着焊接速度的增加,热输入逐渐降低,因而焊缝塌陷趋势得到抑制。试验结果表明:随着焊接速度的增加,仰焊焊缝塌陷趋势逐渐减小。

表 6 不同焊接速度下的仰焊焊缝塌陷

速度/(mm·min ⁻¹)	仰焊焊缝塌陷/mm
70	1.0
75	0.7
80	0.5
85	无
90	无

2.1.4 电弧电压对仰焊焊缝塌陷趋势影响

保持表 3 其他参数不变,调整仰焊位置电弧电压进行整圈焊接试验,仰焊焊缝外表面塌陷如表 7 所示。经分析:随着电弧电压的逐渐递增,电弧力逐渐减小,

表 7 不同电弧电压下的仰焊焊缝塌陷

电弧电压/V	仰焊焊缝塌陷/mm
13.2	无
13.5	无
13.8	0.5
14.1	0.7
14.4	1.0

导致仰焊焊缝下塌趋势逐渐增大。试验结果表明:随着电弧电压的递增,仰焊焊缝下塌趋势逐渐增大。

2.2 下坡焊未焊透

在以下试验中利用焊缝熔深和焊缝背面熔宽的大小来表征下坡焊位置的焊透性,焊缝熔深和焊缝背面熔宽越大,则认为焊透性越好。

2.2.1 峰值电流对下坡焊焊透性的影响

保持表 3 其他参数不变,调整峰值电流,不同电流下的送丝速度也相应调整,避免出现焊丝过热和顶丝现象,相应峰值电流下的熔深和焊缝背面熔宽如图 5 所示。经分析:当峰值电流为 105 A 和 110 A 时,由于单位焊缝上热输入较小,所以未焊透。当峰值电流从 115 A 逐渐增加到 125 A 时,由于热输入加大,熔深逐渐增加,焊缝背面熔宽也逐渐增加。试验结果表明:随着峰值电流的递增,下坡焊的焊透性逐渐变好。

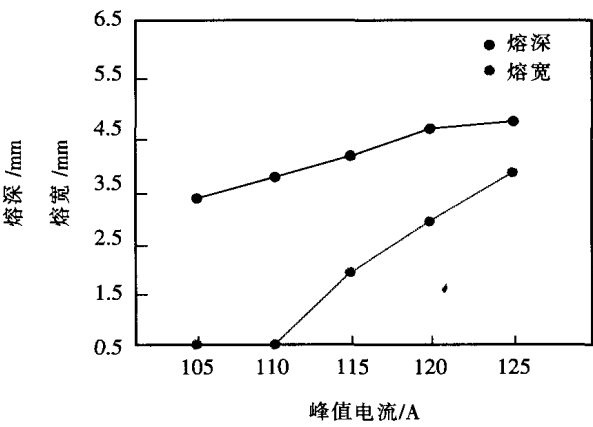


图 5 不同峰值电流下的熔深和背面熔宽

2.2.2 焊接速度对下坡焊焊透性的影响

保持表 3 其他参数不变,调整下坡焊位置焊接速度,相应速度下的焊缝熔深和背面焊缝熔宽如图 6 所示。经分析:当焊接速度逐渐递增时,由于热输入加减小,焊缝熔深和背面焊缝熔宽也逐渐减小,当焊接速度达到 80 mm/min 时,工件未焊透。试验结果表明:随着焊接速度的递增,下坡焊的焊透性逐渐变差。

2.2.3 电弧电压对下坡焊焊透性的影响

保持表 3 其他参数不变,调整下坡焊位置电弧电压相应电弧电压下的焊缝熔深和背面焊缝熔宽如图 7 所示。经分析:随着电弧电压的递增,电弧力逐渐减小,所以焊缝熔深逐渐减小,焊缝背面熔宽也随着逐渐减小,当电弧电压达到 14.0 V 时,工件未焊透。试验表明:随着电弧电压的递增,下坡焊的焊透性逐渐变差。通过上述方法,进行工艺调整,最佳工艺如表 8 所示。

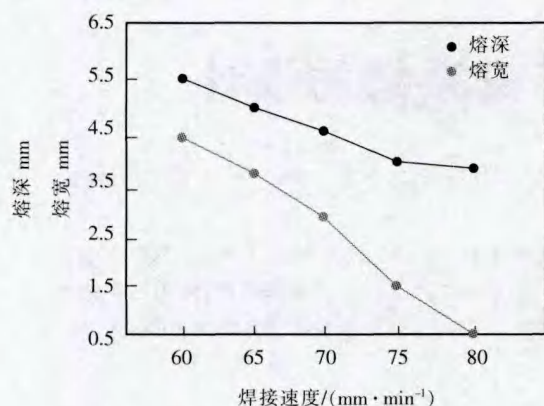


图6 不同焊接速度下的熔深和背面熔宽

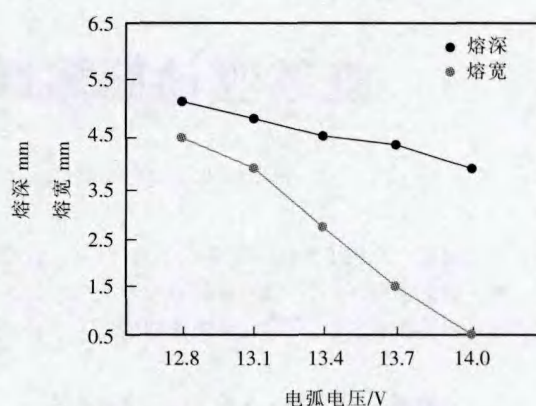


图7 不同电弧电压下的熔深和背面熔宽

表8 最佳工艺参数

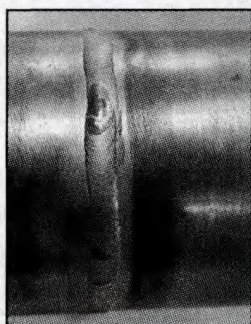
分区角度 (°)	焊接速度 $v/(mm \cdot min^{-1})$	峰值电流 I_p/A	基值电流 I_b/A	送丝速度 $v/(m \cdot min^{-1})$	电弧电压 U/V
0~90	75	130	60	0.45	14.0
90~150	75	122	58	0.45	13.7
150~270	75	114	58	0.60	13.4
270~370	75	118	62	0.50	13.6

焊后焊缝内外表面经目视检查没有裂纹、未焊透、咬边、塌陷等缺陷;焊缝整体宽度4 mm,各分区过渡处

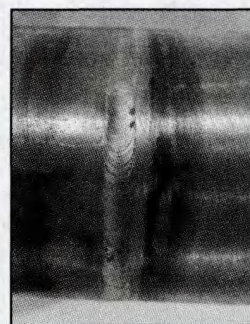
没有明显突变,焊缝直线度较好,满足焊缝外观检验要求,下坡焊、接头搭接处和仰焊焊缝成形如图8所示。



(a) 下坡焊焊缝



(b) 接头搭接处焊缝



(c) 仰焊焊缝

图8 I型坡口氩弧焊缝成形

3 结 论

(1)对于 $\phi 57\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ 不锈钢管子对接全位置TIG内焊,采用I型坡口氩弧焊可以一次性焊透并保证单面焊双面成形,焊缝成形美观。

(2)通过降低峰值电流、基值电流、电弧电压,增加焊接速度,可以有效抑制仰焊焊缝塌陷。

(3)通过增加峰值电流,降低电弧电压、焊接速度可以增加下坡焊焊缝焊透性。

参 考 文 献

- [1] 许译建,李玉龙,刘明爽,等. 不锈钢0Cr18Ni10Ti焊接接头高温、高应变率下的动态力学性能[J]. 金属学报,2008,44(1):98-104.
- [2] 李朋洲,吴云刚. 0Cr18Ni10Ti管道焊缝材料动态断裂力学性能研究[J]. 四川大学学报,2010,42(20):146-148.

作者简介: 费大奎,1984年出生,硕士研究生,主要研究方向为管道TIG全位置对接内外焊工艺。