

窄间隙热丝 TIG 焊接工艺研究及缺陷分析

徐祥久,李宜男

(哈尔滨锅炉厂有限责任公司,黑龙江 哈尔滨 150046)

摘要:研究了 Polysoude 窄间隙热丝 TIG 焊接系统的焊接工艺,分析焊缝产生缺陷的原因。通过对焊接电流、电弧电压、送丝速度、焊接速度、热丝电流等参数的优化分析,得到一组相互匹配的最优参数组合。试验结果表明,采用优化后的工艺参数对大口径无缝钢管进行焊接,可以获得焊缝表面形貌美观、内部无缺陷的优质焊接接头。

关键词:窄间隙;热丝 TIG;缺陷

中图分类号: TG441.7

文献标识码: B

文章编号: 1001-2303(2010)02-0027-04

Study on welding procedure and defects of narrow gap hot wire TIG

XU Xiang-jiu, LI Yi-nan

(Harbin Boiler Co., Ltd., Harbin 150046, China)

Abstract: The welding procedure of Polysoude narrow gap hot wire TIG welding system was introduced in this paper. And the reason that brought weld defects was also analyzed. By optimizing and analyzing the welding current, arc voltage, wire feed speed, travel speed, hotwire current we got a set of optimized parameters. The results show that the weld joint of large diameter pipe which welded by the welding system using the optimized parameters was sound and no defect was detected in it.

Key words: narrow gap; hot wire TIG; defect

0 前言

钨极氩弧焊是以钨材料或是钨的合金材料做电极,在惰性气体保护下进行的焊接,又称为 TIG (Tungsten Inert Gas) 焊或 GTA (Gas Tungsten Arc Welding) 焊^[1]。保护气通过喷嘴送进,起到保护钨极、电弧和熔池的作用。钨极氩弧焊是一种应用非常广泛的高品质焊接方法,但该方法的一个显著缺点就是热输入量小、熔敷效率低、焊接速度慢,成为制约其在高效焊接生产中应用的主要因素。而依靠提高电流来增大热输入以提高熔敷率的方法又会导致电弧压力大幅度提高,容易出现咬边、熔穿等缺陷,应用很受限制。因此,在保留它原有优点的基础上,提高其焊接效率成为亟待解决的问题。

目前,有一些途径可以提高 TIG 焊的熔敷率,例如活性化 TIG 焊、双面双弧焊接、双丝 TIG 焊、热丝焊接等^[2-4]。这些方法在提高 TIG 焊接效率上各有其

自身的一些优点,但同时也存在着一定的局限性。在此研究了热丝 TIG 焊接大口径厚壁管,分析焊接过程产生缺陷的原因,并通过对工艺参数的优化,最终得到了质量优良的焊接接头。

1 原理与方法

1.1 热丝 TIG 焊原理

在采用 TIG 焊对厚度较大的焊接结构(>10 mm)进行焊接时,需要开坡口和多层焊,传统的 TIG 焊电极载流能力有限,电弧功率受到限制,焊缝熔深浅,焊接速度低,不能满足实际生产需求。热丝 TIG 焊正是克服普通 TIG 熔敷效率低的缺点而发展起来的一种高品质、高效率焊接方法^[5-6]。热丝 TIG 焊的基本原理如图 1 所示,在普通 TIG 焊基础上对焊丝进行预热,以提高热输入量,增加熔化速度,从而提高焊接效率,同时仍具有 TIG 焊高品质焊缝的特点。热丝 TIG 焊的焊丝送进独立于焊接电流,因此能够更好地控制焊缝成形;对于坡口焊缝的焊接,其内壁熔合性好,可以对厚壁工件开窄间隙坡口,采用单道多层焊。这样减少了熔敷金属用量,缩短焊接时

收稿日期:2010-01-28

作者简介:徐祥久(1982—),男,黑龙江哈尔滨人,国际焊接工程师,硕士,主要从事锅炉、压力容器焊接工艺编制及焊接现场管理工作。



间,既可以提高生产效率,又能降低生产成本。

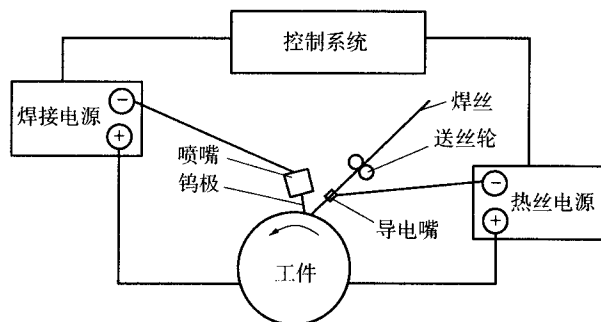


图 1 热丝 TIG 焊原理

1.2 试验方法

试验材料为 SA-335P12 大口径无缝钢管,规格 $\phi 356 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$,化学成分如表 1 所示,焊接接头和坡口形式如图 2 所示。采用 TIG-1C 直径 $\phi 1.0 \text{ mm}$ 焊丝。钨极为钨钨极,直径 $\phi 4.0 \text{ mm}$ 。

表 1 SA-335P12 母材的主要化学成分 %

$w(\text{C})$	$w(\text{Mn})$	$w(\text{Si})$	$w(\text{S})$	$w(\text{P})$	$w(\text{Mo})$
0.120	0.470	0.380	0.010	0.012	0.550

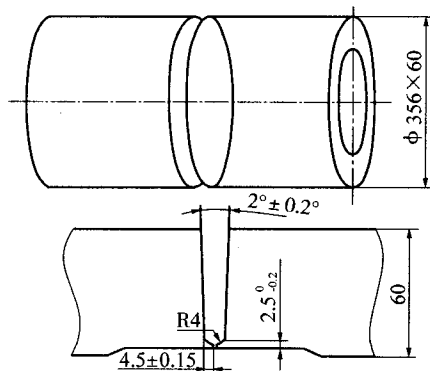
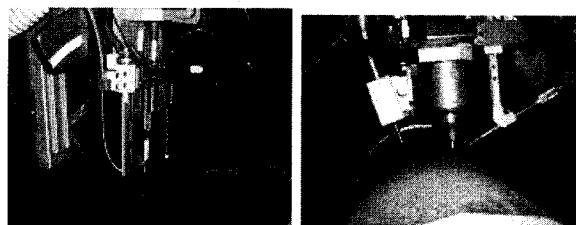


图 2 窄间隙热丝 TIG 焊接坡口

采用法国 Polysoude 公司生产的窄间隙热丝 TIG 焊接系统进行焊接。该系统采用直流窄间隙热丝 TIG 焊接技术,其气动卡盘式旋转机床与焊接机头可实现联动控制,通过编程可实现自动连续焊接。焊接过程中,管件水平转动,焊接机头位于管件正上方竖直位置。该焊接系统主要由焊接电源(PC600)、热丝电源、外置式冷却系统、窄间隙焊接机头(包括 NG 焊枪和 WP 焊枪,如图 3 所示)、送丝机、控制系统、气动卡盘式旋转机床、焊接操作机等组成。

试验时,先用 NG 焊枪进行打底焊,并填充至坡口深度小于 40 mm ,然后用 WP 焊枪继续填满整个坡口并进行盖面焊。试验工艺参数如表 2 所示,其中包括优化前的工艺参数和优化后的工艺参数。



a NG 焊枪

b WP 焊枪

图 3 窄间隙焊接机头

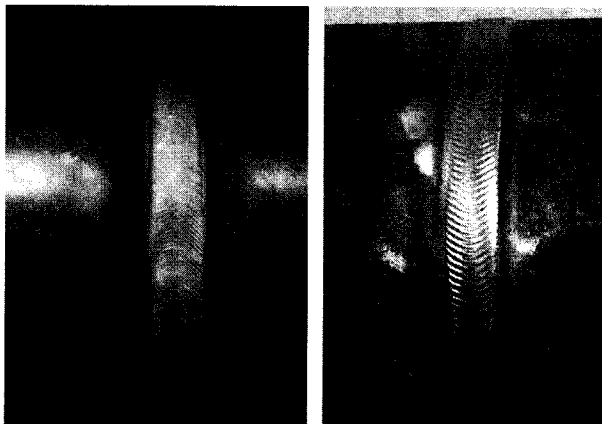
表 2 试验工艺参数

焊层	峰值 电流 I/A	电弧 电压 U/V	送丝 速度 $v/\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	工件 转速 v/mmmin^{-1}	热丝 电流 I/A
打底层	220	8.3	900	90	50
	220*	9.3*	700*	90*	50*
过渡层	300	9.0	1 500	115	70
	350*	11.0*	1 800*	115*	70*
填充层	440	9.8	2 500	115	100
	440*	11.0*	2 200*	118*	100*
填充层	440	10.5	2 500	110	90
	460*	11.5*	2 100*	115*	90*
盖面层	360	11.0	2 000	110	75
	360*	11.0*	2 000*	110*	75*

说明:带 * 数值为优化后的工艺参数。

2 试验结果

不同焊接工艺参数下获得的焊缝表面形貌照片如图 4 所示,焊缝表面成形美观,均呈现出均匀波纹状,从外观上看无任何缺陷。但经超声波探伤发现,采用未优化的工艺参数焊接的焊缝有明显的缺陷波形显示,且在整条焊缝范围内均有连续的反射波。



a 未优化

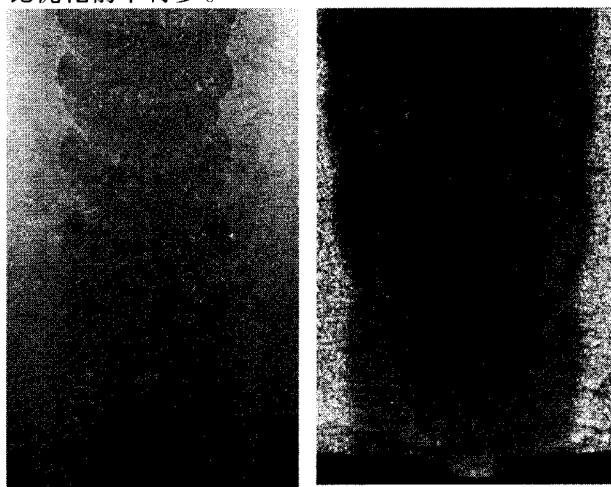
b 优化后

图 4 焊缝表面形貌照片

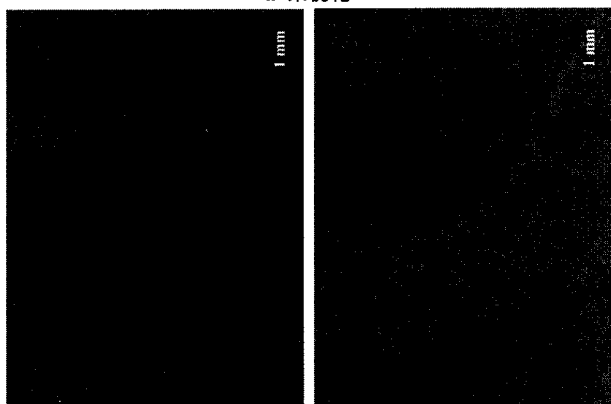
优化前的焊缝截面宏观照片如图 5a 所示,可以看到有明显的缺陷。焊缝组织粗大,呈长条网状分

布并具有很强的方向性。经分析得知,缺陷主要是层间未熔合和微气孔,如图 5b、图 5c 所示。

采用优化后的工艺参数所获得的焊缝经超声波探伤未发现任何缺陷,截面宏观也未发现缺陷,如图 5d 所示,组织晶粒与优化前相比明显细化。同时优化后的工艺参数所获得的焊缝的热影响区要比优化前窄得多。



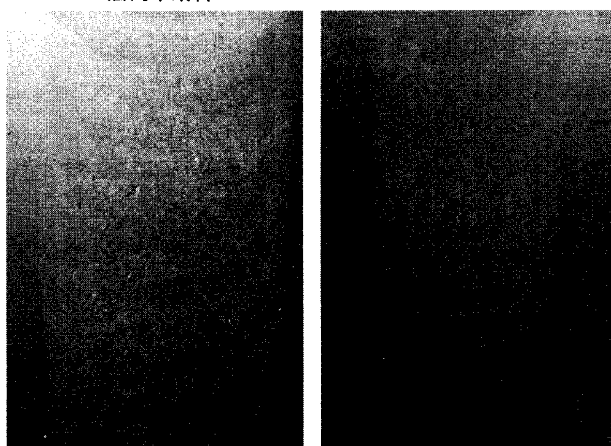
a 未优化



b 层间未熔合



c 微气孔



d 优化后

图 5 焊缝截面宏观形貌

3 分析

在使用该焊接系统对工件进行施焊的过程中,采用窄间隙焊接坡口的单道多层焊接工艺,通过测量每层焊道的厚度发现,使用未优化的焊接工艺参数所获得的单层焊道厚度最大可达 6 mm,这就造成了焊接下一层时电弧只将焊丝和上一层焊缝金属部分熔化,液态金属与上一层焊道之间只是平铺和叠加的关系,并没有达到完全的冶金结合。因此,最终导致焊缝中大量层间未熔合缺陷的存在。针对这种单层焊道熔敷金属厚度太厚的问题,有如下三种方案可以解决:

(1)增大焊接电流,从而增加焊接热输入以熔化先焊焊道。但实验发现,依靠增加焊接电流确实可以彻底消除这种层间未熔合缺陷,但会使窄间隙坡口侧壁熔深明显增大,出现咬边,同时焊接热影响区范围扩大,这对焊接接头的机械性能十分不利。

(2)降低焊接电弧电压,增加电弧对液态金属的穿透能力。Brent K Christrer 等人研究结果表明^[7],电弧长度与电弧电压之间为典型的线性关系,因此 TIG 焊电弧电压多以电弧长度作为规范参数。减小钨极与熔池间的距离,电弧电压降低,电弧对液态金属的穿透能力增强。然而这在焊接过程中又带来了新的问题,电极与母材间的距离变小,电极与熔池容易发生接触,试验过程中多次发生断弧,钨极与焊缝金属粘连在一起,焊接中断,钨极被烧损,焊缝被污染。因此很难通过降低电弧电压的方式来避免层间未熔合缺陷的产生。

(3)减少填丝量。这种方法可以很容易地使每层焊道的厚度变薄,避免缺陷的产生。但同时也极大降低了焊接生产效率。

上述三种方法均不能单独达到消除焊接缺陷的目的,因此必须综合各种因素,将焊接电流、电弧电压、送丝速度、焊接速度、热丝电流等参数进行优化,在保证不产生新的缺陷和不大幅度降低生产效率的情况下获取最优参数组合。首先适当降低送丝速度,以减少单层焊道的厚度;同时适当提高电弧电压,以保证熔敷金属与两侧坡口内壁良好的熔合,在坡口内形成“笑脸”形内凹焊缝。但电弧电压又不能过大,因为电弧长度增加,钨极与母材之间的距离增大,会使电弧对母材的熔透能力降低,也会增加焊接保护的难度,引起钨极的异常烧损和导致焊缝中产生气孔。为了不降低生产效率,对焊接速度(工件转速)进行调整,但焊接速度



缝金属的最佳含碳量为 0.10%。这种含碳量使得焊缝金属具有较高的冲击韧度和与母材相当的高温蠕变极限,进口焊材含碳量更接近最佳值。进口焊丝的 $w(\text{Ni})=0.16\%$, 国产焊丝 $w(\text{Ni})=0.05\%$ 。在 Cr-Mo 钢焊缝金属中, Ni 能促使显微组织中形成针状铁素体,从而提高焊缝金属的韧性。所以低的 Ni 含量可能是国产焊丝冲击韧性差的主要原因。

1.5 焊材配方改进

通过与焊材厂家合作,改进焊材合金成分,添加了一定量的 Ni 合金成分进行重复试验。试验结果如表 7 所示。试验表明,通过调整焊材合金配比,力学性能已经完全能够满足产品的要求,冲击韧性大大提高且稳定性也得到保证。说明国产焊材厂家通过技术攻关,完全有能力开发出满足较高产品要求的焊接材料。如果得到用户的认可,国产焊材可以应用于产品的生产,保证产品的质量要求。

2 结论

(1)对国内两个研发实力较强的厂家开发的 SA-387Gr11CL2 钢用焊接材料进行试验研究发现,国产焊接材料在冲击韧性上还不能满足气化炉产品焊缝的要求。

表 7 更改配方后的试验结果

填充金属牌号	室温抗拉强度 σ_t/MPa	室温屈服强度 σ_s/MPa	夏比 V 型冲击功 $A_k/\text{J}(-20^\circ\text{C})$		高温屈服强度 $R_{0.2}/\text{MPa}$ (425 $^\circ\text{C}$)
			焊缝	热影响区	
R307G	585	465	134,152,130	170,172,188	350
H08CrMoG/SJ110	590	480	134,146,152	160,170,168	380

(2)通过与日本神户制钢同等级焊材的对比,发现了可能是由于化学成分的不同,影响了国产焊材质量。通过与焊材厂家合作改变焊材配方,添加对冲击韧性有益的合金元素,最终使国产焊材满足了气化炉产品的要求。

(3)SA-387Gr11CL2 钢用国产焊材在冲击韧性和工艺性能上与进口焊材存在差距,这是未来国内厂家的研发方向。本研究为未来国产焊材的广泛应用提供了基础实验数据。

参考文献:

- [1] 史耀武.中国材料工程大典[M].第 22 卷(上).北京:化学工业出版社,2005:135-136.
- [2] 史耀武.中国材料工程大典[M].第 22 卷(下).北京:化学工业出版社,2005:112-113.

质焊缝。

参考文献:

- [1] 杨春利,林三宝.电弧焊基础[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2003:85-113.
- [2] 冷雪松,张广军,吴林.双钨极氩焊耦合电弧压力分析[J].焊接学报,2006(9):13-16.
- [3] 赵博,范成磊,杨春利.双丝窄间隙焊接工艺参数对焊缝盛开的影响[J].焊接学报,2008(6):81-84.
- [4] 单闯,宋刚,刘黎明.激光-TIG 复合热源焊接参数对镁/钢异种材料焊接接头的影响[J].焊接学报,2008(6):57-60.
- [5] 汤建锋.热丝 TIG 焊在转炉汽化冷却烟道制造中的应用[J].电焊机,2009,39(4):141-143.
- [6] 肖笑,陈克选,宋聚海.单电源脉冲热丝 TIG 焊的研究[J].电焊机,2009,39(6):38-41.
- [7] Christer B K, Lovell R, Campbel M. Developing a GTAW penetration control system for the Tian IV Program[J]. Welding & Metal Fabrication, 1998(4):33-36.

Page 29 增加并不是无限制的。假定在某一焊接电流和焊接速度下得到了良好的焊缝,若把焊接电流和焊接速度同时增大一倍,则电弧对母材的热输入量与前面相同,理论上应得到相同的焊缝,然而实际却大相径庭。在相同热输入条件下,大电流高速焊接时的熔深要大于低电流低速度焊接时的熔深。以较快的速度进行焊接可以缩短焊接时间,从生产效率角度考虑,大电流高速焊更有利。然而大电流高速度焊接容易产生咬边、焊缝不连续、不均匀等缺陷。不仅使焊缝外观恶化,还会引起应力集中,对接头强度有不良影响,产品焊接接头的质量难以得到保证。

4 结论

对 Polysoude 窄间隙热丝 TIG 焊接系统焊接生产过程中出现的层间未熔合缺陷进行了分析,通过优化焊接工艺参数,使焊接电流、电弧电压、送丝速度、焊接速度、热丝电流等参数匹配良好,并最终在实际生产中获得了焊缝成形美观、内部无缺陷的优

