

螺旋缝焊管预焊的焊接设备与工艺

张善保¹, 杨战利¹, 杨永波¹, 尹志远², 周岩²

(1. 机械科学研究院哈尔滨焊接研究所, 黑龙江 哈尔滨 150080;

2. 中油宝世顺(秦皇岛)钢管有限公司, 河北 秦皇岛 066000)

摘要:介绍了螺旋缝焊管预精焊法生产中预焊技术的特点、预焊焊接设备与工艺。采用两台 DC1000A 进口电源、Ar+CO₂+O₂三元混合气体配比器、英国某公司开发的激光跟踪系统和机械科学研究院哈尔滨焊接研究所研制的陶瓷复合喷嘴可自身旋转清渣的大电流 MAG 空冷焊枪, 结合大电流高速 MAG 焊接工艺进行预焊, 对预焊后的试样进行焊缝成型和金相组织分析, 并对精焊后试样的焊缝和热影响区进行冲击性能分析, 得到了预期的结果, 实现了螺旋缝焊管预焊焊接设备的国产化。

关键词:螺旋缝焊管; 预焊; 焊枪; 焊缝; 国产化

中图分类号: TG43; TG44 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-2311(2011)06-0039-04

Welding Equipment and Process of Spiral Seam Welded Pipe in Tack-welding

Zhang Shanbao¹, Yang Zhanli¹, Yang Yongbo¹, Yin Zhiyuan², Zhou Yan²

(1. Harbin Welding Institute of China Academy of Machinery Science & Technology, Harbin 150080, China;

2. Zhongyou BSS (Qinhuangdao) Petropipe Co., Ltd., Qinhuangdao 066000, China)

Abstract: The tack-welding characteristics, equipments and technologies in the two-stage SAWH pipe production are introduced. The welding equipments include two sets of DC1000A power source imported from the United States, an Ar+CO₂+O₂ tri-mixed gas proportioner, a laser tracking system developed by a British company and a large current MAG air-cooling torch developed by Harbin Welding Institute (HWI), with a ceramic composite nozzle which can be cleaned by itself through nozzle rotating. The experiments of pipe welding production are carried out with the equipments motioned above and combined with the high-speed and large current MAG welding technologies developed by HWI. After the tack-welding process, the weld shaping and microstructure of the samples are analyzed, and the impact properties of the welding line and the heat affected zone of the submerged-arc final welding samples are also analyzed. Through the experiments above, the expected results are obtained and the most important result is that the localization of the spiral pipe tack-welding equipments is realized.

Key words: SAWH pipe; Tack-welding; Welding torch; Welding line; Localization

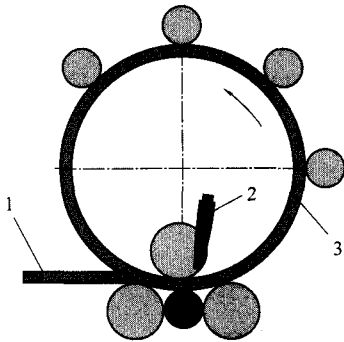
由于经济持续强劲增长, 中国油气产业发展十分迅猛, 油气需求呈高速增长态势^[1]。目前, 中国在建和将建的天然气管线, 除西气东输二线、三线、四线, 还有中亚、中缅、中俄、海气登陆、LNG

(液化天然气)干线管道等一系列管道工程, 预计到 2020 年, 将形成全国天然气基干管道网络^[2-3]。为了提高螺旋缝焊管的生产效率和质量, 中石油、中石化下属的一些大型的钢管公司开始兴建螺旋缝焊管预精焊生产线^[4]。本文首先对螺旋缝焊管的预焊技术以及预精焊法的优点作一定的介绍, 之后再对研制出的螺旋缝焊管预焊焊接设备和开发出的大电流高速 MAG 焊接工艺进行重点介绍。

张善保(1961-), 男, 教授级高级工程师, 研究生导师, 主任工程师, 享受政府特殊津贴, 主要从事焊接工艺、自动焊接专机(生产线)和机器人工作站的研制。

1 螺旋缝焊管预焊技术

预精焊技术是目前世界上大直径螺旋缝焊管生产中最先进的技术,也称二步法生产技术。预焊是预精焊法生产螺旋缝焊管的第一步,也即是钢带在三辊成型机上成型的同时先用高速气体保护焊(MAG)进行连续焊接(预焊),预焊技术原理如图1所示。之后在预焊的同时用等离子切割机将预焊后的钢管切割成规定长度,再将预焊钢管输送到多条精焊生产线进行内外多丝埋弧精焊(第二步)。



1—钢带 2—焊枪 3—钢管

图1 螺旋缝焊管预焊技术原理示意

预精焊方法摆脱了传统一步法生产螺旋缝焊管中成型机的成型速度必须和埋弧焊接速度同步的束缚。预焊速度快,1条预焊生产线可以同时供应多条精焊生产线。充分利用了成型和焊接的各自特点,实现了高速成型和低速焊接的有机结合,从而使生产效率得到大幅提高。由于钢管成型和埋弧精焊分开进行,从而解决了钢管成型和焊接相互干扰的问题。预焊后的钢管坡口两侧相对静止,埋弧精焊质量稳定,避免了传统螺旋缝焊管生产中焊缝容易出现热裂纹、夹渣等问题,同时也减小了埋弧内焊焊缝的“驼形”焊缝,容易得到高质量的焊缝。

预焊作为螺旋缝焊管预精焊生产方法的第1道工序,在保持较高焊接速度的同时,一定要确保焊接质量。预焊的质量,不单单是其本身质量的问题,还会影响到后续精焊的质量,因而预焊工序要满足以下几点要求:①焊缝要连续,外观成型要避免起伏过大,以利于后续精焊焊接质量的稳定;②保证焊缝有适宜的熔透深度和熔敷量,使预焊后的钢管既不开裂,又不影响精焊工序的焊接质量;③保证有较高的焊接速度,使螺旋缝焊管的生产效率得到大幅提高。

2 预焊焊接设备

预焊焊接设备主要包括:焊接电源、送丝系统、大电流MAG专用焊枪、保护气体供气系统、焊缝激光自动跟踪系统、焊枪三维跟踪调节滑板及焊枪夹持机构、控制系统等。螺旋缝焊管预焊焊接系统控制框图如图2所示。

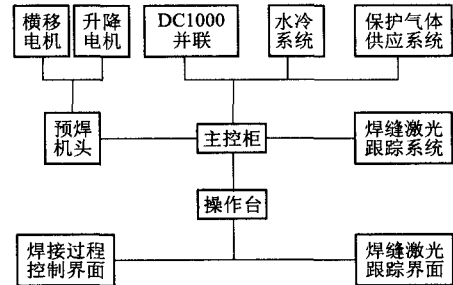


图2 螺旋缝焊管预焊焊接系统控制框图

为满足大电流、粗丝、高速、连续预焊的要求,焊接电源采用两台DC1000A电源并联给同一根焊丝电弧供电,送丝及控制器采用与焊接电源相配套的专用控制器和送丝机,保证送丝过程稳定。气体配比器采用Ar+CO₂+O₂三元混合气体配比器。激光跟踪系统采用英国某公司的产品,跟踪精度达到±0.25 mm。

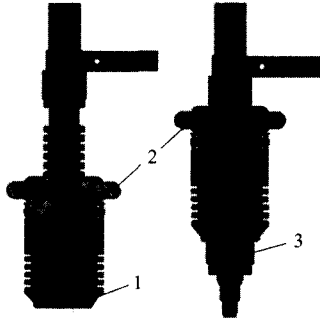
焊枪三维跟踪调节滑板安装在三辊成型机的2号悬臂上,焊枪夹持机构安装在三维滑板上伸到2号悬臂前部焊缝处。

根据预焊焊接电流大的特点,国内外的预焊焊枪均采用全铜质水冷专用焊枪。但是由于预焊过程中飞溅较多,焊接一段时间后不得不停机清理飞溅粘渣,不仅增加了工人的劳动强度,而且严重影响焊接过程的生产效率。为了解决上述难题,机械科学研究院哈尔滨焊接研究所研制出陶瓷复合喷嘴可自身旋转清渣的大电流MAG空冷焊枪(图3),该焊枪已申报国家发明专利。这种新型焊枪由于一次连续工作时间是原来的5倍左右,清渣时间由原焊枪的15~20 min减少到30 s左右,使螺旋缝焊管预焊生产效率提高了30%以上。同时,由于新型焊枪为空冷焊枪,不必配备专用水冷系统,不仅拆装方便,而且节约了大量生产成本。

3 预焊焊接工艺

3.1 坡口形式

预焊的主要作用是钢管成型的定位焊,其焊缝

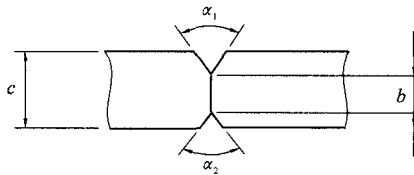


1—陶瓷复合喷嘴 2—螺旋清枪机构 3—环形清渣刀

图3 复合喷嘴自身旋转清渣冷焊枪

虽然是起定位作用的工艺焊缝，在精焊工序时会全部熔化，但是预焊焊缝的成型和熔透深度，对精焊工序埋弧焊缝的成型和质量会产生很大的影响。特别是螺旋缝焊管埋弧内焊是在预焊焊缝基础上进行的焊接，预焊焊缝对坡口的填充量会严重影响对埋弧内焊质量的控制。

例如，当预焊焊缝的填充量较大时会影响到激光跟踪的精度，严重时会使内焊焊缝严重焊偏。内部坡口填充过大，也会使焊缝的余高较大，影响钢管的质量。因而对于螺旋缝焊管的生产，坡口形式的选取很重要。螺旋缝焊管生产一般选择X形坡口，坡口形式如图4所示。对于薄壁管，坡口角度为 90° ，钝边为4 mm；对于厚壁管，坡口角度小于 60° ，钝边6~10 mm，内坡口角度一般小于外坡口。表1是规格为 $\Phi 1\ 219\ \text{mm} \times 18.4\ \text{mm}$ 的螺旋缝焊管坡口参数。



α_1 —内坡口角度 α_2 —外坡口角度
 b —钝边长度 c —板材厚度

图4 螺旋缝焊管坡口形式示意

表1 $\Phi 1\ 219\ \text{mm} \times 18.4\ \text{mm}$ 螺旋缝焊管坡口参数

坡口形式	钝边/mm	坡口角度/ $^\circ$	坡口宽度/mm
X	6~7	内 30 ± 5 , 外 40 ± 5	内 6~8, 外 8~10

3.2 焊丝和保护气体

预焊焊缝是起定位作用的工艺焊缝，可以采用

常规的焊丝和保护气体，但是一定不要影响后续精焊焊缝性能。钢管的材质不同，所选用的焊丝也不尽相同。例如X80钢级管线钢采用特制的CHW-60C焊丝，如果采用常规焊丝或CHW-50C焊丝就可能使焊缝的硬度等指标不达标。保护气体根据焊接速度的不同也会有所变化，一般在焊接速度小于 $4.5\ \text{m/min}$ 时，采用 $\text{Ar} + \text{CO}_2$ 二元保护气体；而当焊接速度超过 $4.5\ \text{m/min}$ 时一般采用 $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ 三元保护气体，通过加入适当的氧气来增加焊接过程的稳定性。但是，为了不影响精焊焊缝的性能指标， O_2 的比例一般不超过保护气体的5%，因为 O_2 含量较高时容易使焊缝的硬度不达标。

3.3 焊接参数

上述预焊焊接设备自2009年投产以来，焊接了一批西气东输二线用大直径螺旋缝焊管。西气东输二线主干线用管材质为X80钢级，管径为1 219 mm，壁厚为18.4 mm，焊丝采用 $\Phi 3.2\ \text{mm}$ 的CHW-60C焊丝。预焊焊接参数见表2。西气东输二线支线用管材质为X70钢级，管径为1 016 mm，壁厚为17.5 mm，焊丝采用 $\Phi 3.2\ \text{mm}$ 的CHW-60C焊丝。

表2 X80钢级 $\Phi 1\ 219\ \text{mm} \times 18.4\ \text{mm}$
螺旋缝焊管预焊焊接参数

倾角/ $^\circ$	伸出长度/mm	气体流量/ $(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$	气体比例/%	电流/A	电压/V	焊接速度/ $(\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$
0~2	25~35	70~90	Ar 80, CO ₂ 20	620~700	21~23	3.5~6.0

3.4 预焊焊缝金相组织及性能

预焊焊缝的断面如图5所示(母材为X80钢级管线钢)。从图5可以看出，预焊焊缝成型良好，焊缝断面呈钟罩形，熔深1.5~2.0 mm，焊缝金属填充量合适，能够保证钢管的成型定位不开裂，同时也不会影响到后续的激光跟踪和精焊质量。

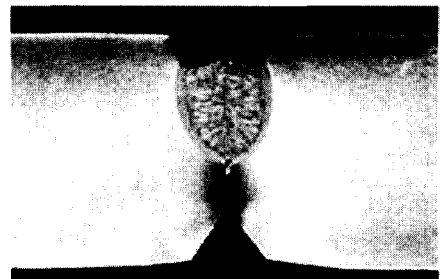


图5 预焊焊缝断面

图 6 所示为预焊焊缝的金相组织照片。从图 6 可以看出,焊缝的组织主要是板条马氏体,焊缝硬度为 376HV10。这种焊缝组织的形成可能与焊接速度较快,而焊缝金属的冷却速度也较快有关。由于板条马氏体不仅具有较高的硬度和强度,同时板条马氏体中的高密度位错是不均匀分布的,存在低密度区,为位错提供了活动的余地,而且其碳浓度低,存在“自回火”效应,因此它也具有相当好的冲击韧性,预焊焊缝组织不会影响后续精焊焊缝的各项性能指标。预焊试样焊缝及热影响区的冲击性能见表 3。从表 3 可以看出,预焊试样焊缝和热影响区在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冲击功平均值分别为 161 J 和 158 J;剪切面积百分比平均值分别为 65%和 64%,也都

满足标准的要求。因此,表 2 的焊接工艺参数适合 X80 钢级管线钢的螺旋缝焊管预焊工序。

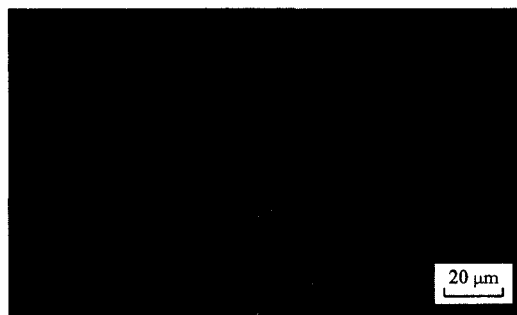


图 6 预焊焊缝金相组织

表 3 X80 钢级 $\Phi 1219\text{ mm}\times 18.4\text{ mm}$ 螺旋缝焊管预焊焊缝及热影响区冲击性能

项目	冲击功/J				剪切面积百分比/%			
	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值
焊缝	153	162	168	161	63	65	66	65
热影响区	155	155	164	158	63	63	65	64
标准要求值	热影响区 ≥ 60 , 焊缝 ≥ 80				热影响区 ≥ 30 , 焊缝 ≥ 40			

注: ①试验温度为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$; ②试样焊缝和热影响区的试验结果均为合格; ③执行 API 标准。

4 结 语

为提高螺旋缝焊管的焊接质量和生产效率,研制出螺旋缝焊管预焊和精焊焊接设备与工艺,本文所介绍的是预焊工序的设备与工艺部分。

(1) 预焊工艺:采用粗丝($\Phi 3.2\text{ mm}$),大电流($650\sim 1000\text{ A}$)MAG 焊接,实现了 6 m/min 的高速焊接。

(2) 研制出的陶瓷复合喷嘴自身旋转清渣大电流 MAG 空冷焊枪,一次连续工作时间是原焊枪的 5 倍左右,清渣时间由 $15\sim 20\text{ min}$ 减少到 30 s 左右,生产效率提高 30%以上,并省去了水冷系统配置费用。

该设备与工艺经过实际生产应用,实现了螺旋缝焊管预焊的连续生产,经后续内外埋弧精焊后的钢管,比传统螺旋缝焊管生产方法(一步法)具有明显的优点。焊接质量稳定性得到很大提高,避免了

埋弧焊缝热裂纹、夹渣等问题的产生,埋弧内焊的“驼形”焊缝得到了有效缓解,同时生产效率是传统螺旋缝焊管生产方法的 2 倍以上。实现了螺旋缝焊管预焊设备的国产化,对我国焊管工业的发展和大型油气管线的建设具有十分重要的意义。

5 参考文献

- [1] 陈庆勋. 中国油气管道建设现状与发展趋势[C]//中国国际管道合作与发展高层论坛会. 廊坊: 2008.
- [2] 明茜. 中国油气管道建设规划雏形: 东西并进 10 年再建 5 万公里[N]. 21 世纪经济报道, 2009-06-26(18).
- [3] 张楠. 西气东输四线将源起塔里木盆地[N]. 中国证券报, 2009-06-26(B01).
- [4] 李鹤林. 中国焊管 50 年[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2008.

(收稿日期: 2011-07-06)

欢迎订阅“中国期刊方阵”双效期刊·钢管(双月刊)