

螺旋缝埋弧焊管预精焊工艺内焊三丝的应用

付超, 代志健, 雷小兵

(山东胜利钢管有限公司, 山东 淄博 255082)

摘要: 以螺旋缝埋弧焊管预精焊工艺为基础, 进行了精焊内焊三丝焊接工艺的研究。介绍了精焊机组的内焊机械设备与控制系统。通过优化内焊三丝工艺的焊接电源参数和形位参数, 实现了精焊内外焊五丝焊接。统计 X80M 钢级 $\Phi 1\ 016\ \text{mm} \times 15.3\ \text{mm}$ 钢管的实际生产数据表明: 采用内焊三丝工艺后螺旋缝埋弧焊管焊缝外观质量、内在质量及力学性能均优于双丝内焊焊缝。

关键词: 螺旋缝埋弧焊管; 预精焊; 精焊; 内焊; 三丝; 焊接电源; 形位参数

中图分类号: TG445; TG422.3 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-2311(2013)05-0020-06

Application of Inside Three Wire Welding on Tack-welding Process for SAWH Pipe

FU Chao, DAI Zhijian, LEI Xiaobing

(Shandong Shengli Steel Pipe Co., Ltd., Zibo 255082, China)

Abstract: The inside three wire welding process of finishing welding is studied based on the tack-welding process for SAWH pipe. The inside welding mechanical equipment and control system of the finishing welding unit are described. The five wire welding for inside and outside finishing welding is realized with the optimization of the welding power supply parameters and configuration and position parameters of the inside three wire welding process. The statistics of the practical production data of the steel pipe with size of $\Phi 1\ 016\ \text{mm} \times 15.3\ \text{mm}$ and grade of X80M shows that the appearance quality, inner quality and mechanical properties of the welding seam of SAWH pipe with the inside three wire welding process are all superior to those of the welding seam with the inside two wire welding process.

Key words: SAWH pipe; tack-welding; finishing welding; inside welding; three wire; welding power supply; configuration and position parameter

三丝焊电弧多、电流较大、熔池较长, 具有热输入量较大、熔敷效率高、冶金反应充分、焊接速度快等优点^[1]。目前在螺旋缝埋弧焊管生产中, 对大直径钢管普遍采用内、外双丝焊, 而预精焊工艺离线焊接更容易实现多丝焊接和自动跟踪, 提高产品质量和生产效率^[2-3]。成型与焊接的分离使得内焊有理想的焊点位置, 在机械设备与电气控制的基础上, 完全可以实现内焊三丝焊接。

山东胜利钢管有限公司预精焊分厂为适应新时

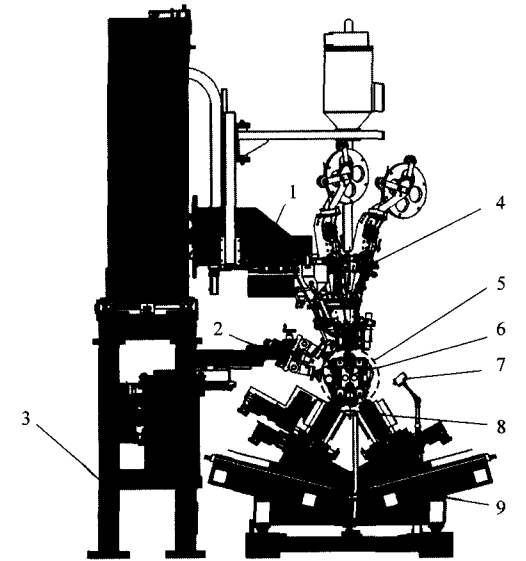
期油气输送管线要求, 提高螺旋缝埋弧焊管的产量与质量, 进行了精焊内焊三丝焊接工艺的研究, 在西气东输三线、中缅油气管线、中亚输气管线等工程用数种规格的螺旋缝埋弧焊管生产中成功应用了预精焊内外五丝焊接工艺。本文重点介绍内焊三丝焊接工艺在螺旋缝埋弧焊管预精焊机组精焊机组上的应用情况。

1 精焊内焊设备与控制系统

山东胜利钢管有限公司螺旋缝埋弧焊管预精焊机组采用的是 1 套预焊机组配 4 套精焊机组。精焊机组为螺旋传动式工作形式, 主要由内焊设备、外

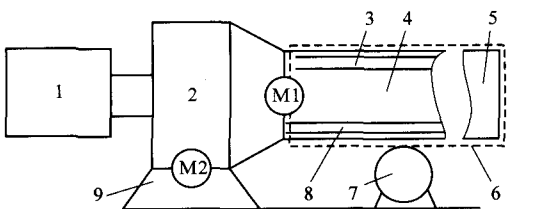
付超(1987-), 男, 硕士, 主要从事螺旋缝埋弧焊管设备与焊接材料的研究工作。

焊设备、接地设备与若干螺旋驱动辊组构成,如图1所示。内焊设备主要包括内焊大臂、内焊焊头、自动跟踪系统、焊剂供给与回收系统等。内焊大臂由配重、支架、悬臂梁等构成(图2),焊剂与焊丝输送管固定在大臂之上,可焊接钢管的最大长度为15 m。内焊焊头安装有送丝驱动电机、偏心距调节机构、焊头高度调节机构、3把纵向排列的焊枪、焊剂供给漏斗等机构。精焊内外焊五丝焊头布置如图3所示。



1—外焊臂 2—接地设备 3—支架结构
4—外焊设备 5—钢管 6—内焊焊头
7—内焊跟踪系统 8—管长传感器 9—螺旋驱动辊

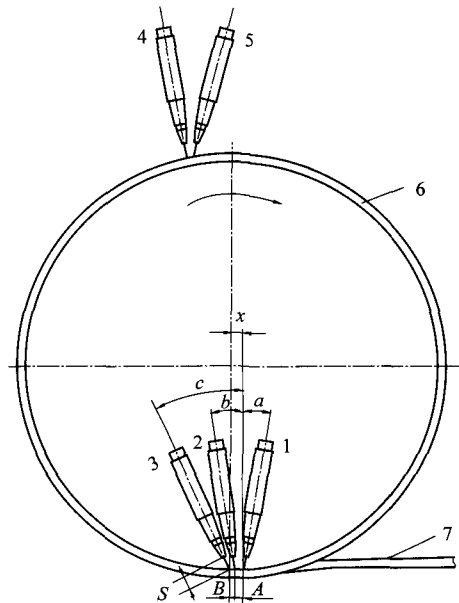
图1 精焊机组成示意



1—配重 2—支架 3—焊剂输送管
4—内焊大臂 5—焊头 6—钢管 7—螺旋驱动辊
8—焊丝输送管 9—底座 M1—内焊大臂高度调节伺服电机
M2—内焊大臂纵向调节伺服电机

图2 内焊大臂示意

螺旋驱动辊组采用下驱动方式,提供钢管的支撑与驱动,PLC通过控制辊子上的3个伺服电机可实现0°钢管快速运输、90°钢管旋转与螺旋线角度



1~3—内焊三丝编号 4~5—外焊双丝编号 6—钢管
7—钢带 a—1号丝倾角 b—2号丝倾角 c—3号丝倾角
A—1、2号丝间距 B—2、3号丝间距
S—焊丝干伸长量 x—偏心距

图3 螺旋缝埋弧焊管精焊内外焊五丝焊头布置示意

焊接。精焊设备的所有操作,均由PLC控制,通过人机操作界面,调节参数,PLC可实现焊头高度、偏心距、焊丝间距、倾角等参数的自动调节。焊接控制系统由数字电焊机、送丝控制单元、可视化人机操作界面等部分组成。图4给出了精焊内焊焊接控制系统工作原理,精焊每条生产线共配5台ELMATECH全数字电焊机(2台DC1500电焊机,3台AC1200电焊机),数字电源内部的微处理器与送丝驱动电机之间通过以太网通信,可以实现实时控制与调节送丝速度,产生稳定的电弧^[4]。

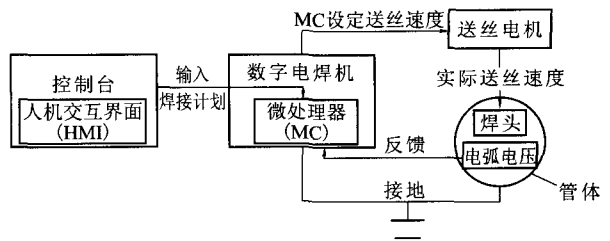


图4 精焊内焊焊接控制系统工作原理示意

2 内焊三丝工艺的优化

2.1 电源参数

内焊三丝焊接的首要困难在于焊丝数量多,焊

接电弧磁场干扰导致的电弧不稳定问题。内焊3台电焊机为主从结构,选用直流+交流1+交流2的模式,直流电源为主,交流电源为辅。由于每根焊丝使用不同的焊接电源,因此需要控制每个电源的输出特性,保证其输出电流的大小、频率、相位角及

波形稳定,即可明显减轻电弧间的干扰^[5]。在交流电源的基本设置界面,通过设定两台交流电源的电流波形、相位角,可在很大程度上减轻电弧干扰,保证后两丝的电弧稳定。交流数字焊接电源的主要参数见表1。

表1 交流数字焊接电源主要参数

项目	参数名称	意义	调节范围
基本设置	输出波形	调节交流电源的波形	正弦波、矩形波
	相位设置	调节交流电源的相位角	0°~180°
	焊接方式	设置电焊机的焊接方式	MAG、埋弧焊、手工焊
起弧程序	起弧时间		0.1~9.0 s
	起弧电流		5~1 200 A
	交流频率		40~200 Hz
稳弧程序	-	可稳定起弧、电弧燃烧	0.1~9.9 s
焊接程序	焊接电流		根据实际工艺卡
	交流频率		40~200 Hz
	送丝速度	微处理器通过检测电压自动调节	0~5 m/min
	允许最大电流		1 200 A
	动特性设置	电流波动时的响应时间	0~50 ms
熄弧程序	-	电弧的熄弧阶段程序设置	-

大壁厚高强度螺旋缝埋弧焊管的内焊三丝安排如下:1号丝主要保证熔深,在避免烧穿的情况下尽量选择大电流(850~1 100 A)、小电压(31 V±2 V);2号丝的主要作用是填充焊缝,电流电压介于1号和3号丝之间;3号丝的主要作用是盖面,消除焊缝表面缺陷,需采用小电流(400~550 A)、大电压(34 V±2 V)^[6]。调试初期,2、3号丝常常起弧不稳或无法起弧,导致大臂剧烈颤动。焊接过程中也存在电流、电压参数变化过大,焊接系统异常停弧等问题。针对不同规格的钢管型号、焊接方式、焊丝直径,可预先在数字焊接电源内部建立一系列的焊接程序,命名为不同的焊接计划(JOB)。每个焊接程序下对应起弧、燃弧、焊接与熄弧等几个阶段,通过优化调节每个阶段的一系列参数可保证内焊3个电弧在同一熔池稳定的存在。

2.2 焊接形位参数

焊接形位参数主要包括焊丝伸出长度、焊丝倾角、焊丝间距以及偏心距等。偏心距与内焊的焊点位置相关,直接影响内焊缝的“马鞍形”、余高与焊缝成型质量,过大会产生偏流或边缘不齐、内部凹陷较深等问题,过小则由于应力变大而产生微裂

纹。焊丝伸出长度、焊丝倾角、焊丝间距对焊缝的熔深、余高、焊缝成型质量也有较大影响^[7-9]。内焊三丝焊接时偏心距一般设定在20~50 mm,表2给出了优化后的内焊三丝形位参数。

表2 优化后的内焊三丝形位参数

焊丝号	伸出长度/mm	倾角/(°)	间距/mm
1	20~30	5~10	10~20
2	20~30	10~20	10~20
3	20~30	15~30	10~20

注:生产的产品为X80M钢级Φ1 016 mm×15.3 mm螺旋缝埋弧焊管。

2.3 焊丝和焊剂

焊缝是由焊丝、母材(有50%~70%的母材熔入焊缝金属)和焊剂在所选的焊接工艺条件下通过冶金、物理和化学反应而得到的^[10]。三丝单熔池埋弧焊的焊接热输入是必须要考虑的问题,由于线能量大,容易导致合金元素的烧损,使焊缝金属存在强度和韧性下降的现象^[11]。同时三丝埋弧焊可提高焊接速度,这也对焊缝的冲击韧性有一定的影响。因

此必须使用适合大线能量的高强度、高韧性焊丝和焊剂。

2.4 焊接速度

经过多次试验,在保证螺旋缝埋弧焊管焊缝质量的前提下,对于大壁厚高强钢管,内焊三丝的焊接速度一般设定在 1.7~1.9 m/min,双丝的焊接速度设定在 1.5~1.6 m/min。

3 焊缝性能

在生产 X80M 钢级 $\Phi 1\ 016\ \text{mm} \times 15.3\ \text{mm}$ 螺旋缝埋弧焊管时,精焊 1 号生产线采用内焊双丝工艺,4 号生产线采用内焊三丝工艺,外焊均采用双丝工艺。在相同的焊材匹配下,研究对比内焊双丝与三丝的焊缝性能。螺旋缝埋弧焊管精焊 1 号和 4 号生产线的工艺参数对比见表 3。

表 3 精焊 1 号和 4 号生产线的工艺参数对比

项目	1 号生产线			4 号生产线			
	电流/A	电压/V	焊丝直径/mm	电流/A	电压/V	焊丝直径/mm	
外焊	1 号丝	1 050	33	4.0	1 050	33	4.0
	2 号丝	550	35	3.2	550	35	3.2
内焊	1 号丝	900	32	4.0	860	32	4.0
	2 号丝	550	34	3.2	580	33	3.2
	3 号丝	-	-	-	520	34	3.2

注:1 号生产线的焊接速度为 1.5 m/min,4 号生产线的焊接速度为 1.7 m/min。

3.1 焊缝宏观及金相分析

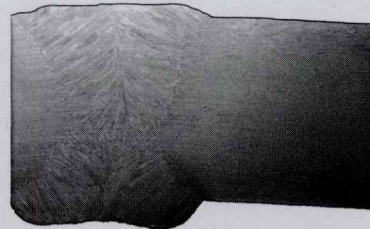
图 5 所示为精焊 1 号、4 号生产线试样焊接接头的宏观形貌。表 4 给出了精焊 1 号、4 号生产线试样焊缝外观检查的统计数据平均值。从图 5 可知:两试样均表现为熔深良好、焊缝饱满、内焊“马鞍形”基本消除且边缘过渡平缓,4 号生产线试样的内焊缝“马鞍形”略小于 1 号生产线;两试样外焊缝基本呈现完美的弧形过渡。从表 4 可知:1 号、4 号生产线试样的焊缝外观统计数据平均值相差不大,4 号生产线试样的熔深与内焊缝高度稍大于 1 号生产线试样。

对于不同规格的钢管,内焊采用双丝与三丝工艺时,其偏心距、焊丝间距与焊接速度等参数设定不同。通过参数的合理优化,均可在保证焊缝质量的前提下,减小内焊缝“马鞍形”。内焊三丝焊接时,通过优化工艺参数可基本消除内焊“马鞍形”,焊缝的外观质量与双丝工艺相比略有改善。

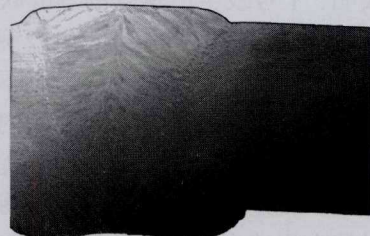
3.2 焊缝质量

内焊采用三丝焊接时精焊 X80M 钢级 $\Phi 1\ 016\ \text{mm} \times 15.3\ \text{mm}$ 螺旋缝埋弧焊管的生产质量统计见表 5,X 射线工检一次不合格钢管所占比例情况如图 6 所示。

分析表 5 与图 6 可知:在精焊设备正常运转的情况下,平均每班按 12 h 计,4 号线生产的钢管数量比 1 号线多 5~6 根;4 号线生产的钢管一次合



(a) 1 号生产线试样



(b) 4 号生产线试样

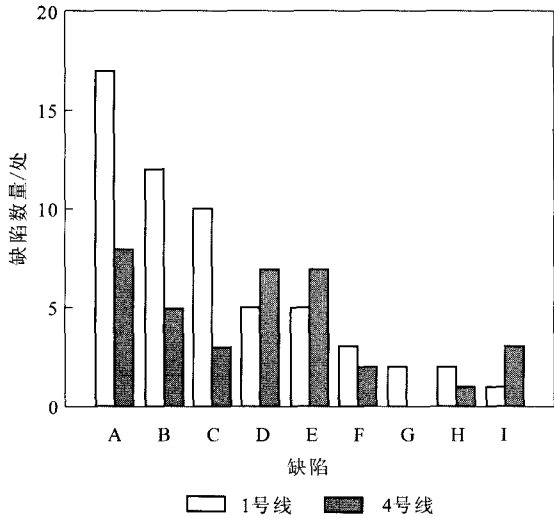
图 5 精焊 1 号、4 号生产线试样焊接接头宏观形貌

表 4 精焊 1 号、4 号生产线试样焊缝外观

生产线	熔深	中心 偏差	检查统计数据(平均值)			
			焊缝宽度		焊缝高度	
			内	外	内	外
1 号	2.4	0.96	16.8	16.6	2.2	1.3
4 号	2.6	0.84	16.3	16.7	2.5	1.3

表 5 X80M 钢级 Φ1 016 mm×15.3 mm 螺旋缝埋弧焊管精焊生产质量统计

生产线	钢管数量/根	X射线工检一次合格率/%	超声波检验一次合格率/%	出库率/%
1号	509	90.9	95	100
4号	552	94.9	98	100



A—气孔 B—咬边 C—未焊透 D—焊道不规整
E—断弧 F—焊偏 G—裂纹 H—夹渣 I—烧穿

图 6 精焊后 X 射线工检一次不合格钢管主要缺陷

格率达到 94.9%，优于 1 号线 4 个百分点；1 号线一次不合格钢管共计 46 根，焊缝出现的缺陷共 57 处。图 6 表明：1 号线生产钢管的焊缝缺陷较多的是气孔、咬边、未焊透，而 4 号线生产钢管的这类缺陷明显要少些；4 号线的断弧与焊道不规整缺陷稍多于 1 号线，其主要原因是 4 号线的内焊大臂较长，三丝焊接过程中电弧多，较小的干扰可能造成悬臂大幅颤动，轻则焊道不规整，重则断弧；1 号线在生产过程中累计出现了 2 处裂纹缺陷，而 4 号线则未出现；两条生产线的焊偏、夹渣、烧穿等缺陷出现的频率较少。

可见内焊三丝工艺一次合格率高，有利于消除气孔、咬边、未焊透等缺陷，不易出现裂纹，但易造成断弧与焊道不规整。总的来说，内焊三丝工艺生产效率高，其焊缝质量优于双丝工艺。

3.3 力学性能

统计生产过程中不同炉批的 10 根钢管取样的力学性能，结果如图 7~8 及表 6 所示。

试样的拉伸性能对比(图 7)表明：4 号线试样

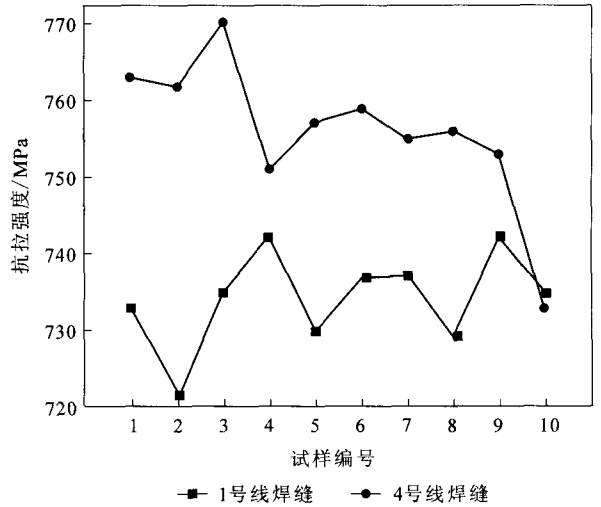


图 7 1 号线与 4 号线试样拉伸性能对比

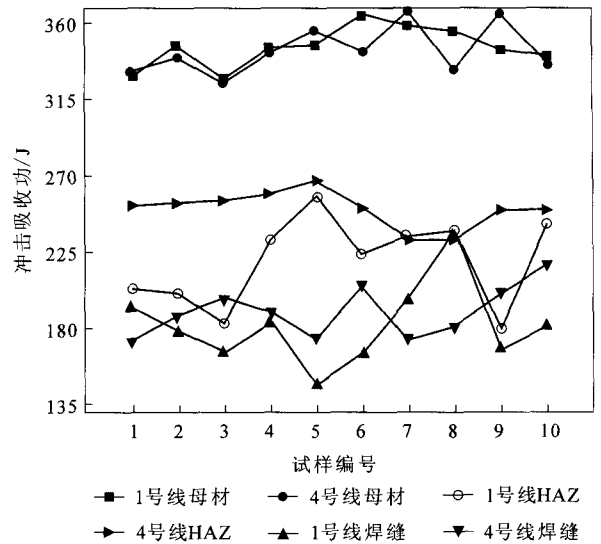


图 8 1 号线与 4 号线试样夏比冲击性能对比

表 6 1 号线与 4 号线试样导向弯曲性能对比

生产线	1~10 号试样弯曲后形貌
1号	10号试样反弯后 HAZ 出现长度 1.0 mm 裂纹，其余试样完好
4号	1号试样反弯后 HAZ 出现长度 2.0 mm 裂纹，其余试样完好

的抗拉强度值除 10 号试样以外均在 745 MPa 以上，均值高出 1 号线试样 20 MPa。在 -10 ℃ 试验温度下试样冲击韧性(图 8)表明：在母材冲击韧性大致相当的情况下(320~360 J)，4 号线试样的焊缝冲击功波动较小，稳定在 195 J 上下，最小值为

172 J。以 1 号线的 6~8 号试样为例, 6 号试样的母材冲击功达 366 J, 而焊缝仅为 165 J; 7 号和 8 号试样的母材冲击功高于 350 J, 焊缝冲击功分别为 197 J、236 J。分析图 8 中 1 号线试样的焊缝冲击功曲线可知: 1 号线试样的焊缝冲击功波动较大。与 1 号线试样的热影响区(HAZ)相比, 4 号线试样 HAZ 的冲击吸收功变化趋势基本呈直线, 平均值高出 1 号线 30 J。可见, 虽然三丝焊接的线能量大, 但 HAZ 的冲击韧性与双丝焊接相比没有显著下降。文献[12]指出: 在多丝埋弧焊电弧中, 在保证熔透的情况下 HAZ 的直接热量输入并不取决于整体焊接线能量, 而是取决于电弧前半部分的中心温度和热量, 即前丝的焊接参数; 整体焊接线能量的提高, 增加了 HAZ 特别是粗晶区的宽度。从表 6 可知: 1 号线与 4 号线试样的弯曲均为合格, 均有 1 个试样反弯后在 HAZ 出现了长度小于 3.2 mm 的裂纹。

与双丝工艺相比, 内焊三丝工艺有利于提高焊缝的抗拉强度和焊缝、HAZ 的冲击韧性, 且弯曲性能良好。

4 结 论

(1) 以螺旋缝埋弧焊管预精焊工艺为基础, 总结并优化了精焊内焊三丝工艺参数, 尤其是数字化焊接系统的融入, 保证了焊接过程的稳定性。

(2) 内焊三丝工艺在保证焊缝质量的条件下, 可通过优化偏心距、焊丝间距、焊丝伸出长度等参数, 在一定程度上减小内焊缝“马鞍形”缺陷, 焊缝边缘与母材过渡平缓, 焊缝外观尺寸有效控制标准要求之内。

(3) 对于大壁厚高强度钢管, 采用内焊三丝工艺后生产效率高, 一次合格率优于内焊双丝工艺,

有利于减少气孔、咬边、未焊透等缺陷, 有利于提高焊缝的抗拉强度和焊缝、HAZ 的冲击韧性, 弯曲性能良好。

5 参考文献

- [1] 姜焕中. 电弧焊及电渣焊[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- [2] 程绍忠, 陈英莲. 我国油气输送螺旋埋弧焊管制造技术现状及发展方向[J]. 焊管, 2008, 31(2): 10-14.
- [3] 程绍忠, 陈其卫, 陈英莲. 螺旋埋弧焊管两步法生产工艺技术的应用探讨[J]. 钢管, 2007, 36(5): 36-40.
- [4] 代志健, 付超, 雷小兵. 数字化焊接系统在螺旋缝焊管预精焊机组中的应用[J]. 钢管, 2012, 41(5): 76-78.
- [5] 蒋华雄, 冯家星, 李敏拓. 精密数字控制四丝埋弧焊接系统[J]. 电焊机, 2010, 40(6): 21-26.
- [6] 韩彬, 邹增大, 曲仕尧, 等. 双(多)丝埋弧焊方法及应用[J]. 焊管, 2003, 26(4): 41-44.
- [7] 胡德虎, 赵炜, 牛辉, 等. 螺旋埋弧焊管双丝高速焊工艺参数的优化[J]. 焊管, 2007, 30(4): 69-71.
- [8] 王晓东. 双丝埋弧自动焊在螺旋输送钢管制造中的应用[J]. 现代焊接, 2005, 34(4): 47-49.
- [9] 王凤成, 崔晓峰, 王国胜, 等. 螺旋缝焊管预焊缺陷对精焊质量的影响与控制[J]. 钢管, 2012, 41(2): 49-52.
- [10] 彭云, 陈武柱, 许祖泽. 管线钢大电流双面高速埋弧焊接用焊丝研制[J]. 焊接学报, 2001, 22(2): 62-66.
- [11] 高国兵, 费新华, 虞明达, 等. 三丝埋弧技术在厚板焊接中的应用[J]. 施工技术, 2008, 37(5): 154-159.
- [12] 张涵, 葛玉宏. 多丝埋弧焊热影响区冲击韧性分析[J]. 焊管, 2009, 32(11): 46-50.

(收稿日期: 2013-04-07; 修定日期: 2013-08-10)

● 信 息

衡阳华菱钢管有限公司实现 $\Phi 114.3$ mm HSM-2 特殊螺纹油管批量生产

2013 年上半年, 衡阳华菱钢管有限公司首次接到 N80Q 钢级 $\Phi 114.3$ mm \times 6.88 mm HSM-2 特殊螺纹油管合同。为保证生产成功, 公司技术中心螺纹室精心设计量具和标准块, 编制了螺纹加工数控程序。2013 年 8 月中旬进行试生产, 生产出的特殊螺纹中径、密封面直径、齿高、螺距、锥度等各项参数均达到设计要求。经过上、卸扣试验, 其扭矩曲线完全达到要求, 螺纹完好未出现异常情况。目前, 该产品已进行批量生产。

(衡阳华菱钢管有限公司 许莹)