

镍管纵缝等离子+TIG 焊接接头组织性能研究

王希靖¹, 魏万奎¹, 袁亮文¹, 柴廷玺¹, 王江², 张东²

(1.兰州理工大学有色金属先进加工与再利用省部级重点实验室,甘肃兰州 730050;2.金川集团股份有限公司,甘肃金昌 737100)

摘要:针对纯镍焊接时易出现裂纹、气孔、熔合不良等缺陷,采用等离子+TIG双枪焊接方法,进行5 mm厚N6纯镍管纵缝平板模拟试焊,通过正交试验优化焊接工艺参数,并对接头的组织和性能进行了研究。试验结果表明,最优焊接工艺参数下,接头抗拉强度为328 MPa,达到母材的90%;焊接接头中等离子焊接区(焊缝中下层)范围大,焊接接头的断裂属于以韧性断裂为主的混合断裂;分析接头的显微组织可知:N6母材为单相奥氏体组织,焊缝的TIG焊接区(焊缝中上层),由于两次受热,主要由粗大的奥氏体柱状晶组成,焊缝的等离子焊接区是粗大的奥氏体胞状晶。

关键词:等离子+TIG;镍管;混合断裂;显微组织

DOI: 10.14158/j.cnki.1001-3814.2016.07.073

中图分类号: TG442

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2016)07-0254-04

Investigating on Microstructure and Properties of Plasma & TIG Welded Joints in Longitudinal Seam of Nickel Pipe

WANG Xijing¹, WEI Wankui¹, YUAN Liangwen¹, CHAI Tingxi¹, WANG Jiang², ZHANG Dong²

(1. State Key Laboratory of Ministry of Non-ferrous metals Advanced processing and Reuse, Lanzhou Univ. of Tech. Lanzhou 730050, China; 2. Jinchuan Group Limited Co., Ltd., Jinchang 737100, China)

Abstract: Aiming at the welded defects of pure nickel, such as cracks, holes and poor welding, the double guns of plasma & TIG welding were simulatively tested in the longitudinal welding seam of 5mm thickness pure nickel pipe N6 in the flat bed. By using the orthogonal experiment to optimize the welding parameters, the microstructure and property of welded joints were investigated. The test results show that: in the optimal welding process parameters, the tensile strength of welded joint reaches 328MPa, which is 90% of base material. The wide range of weld joints is plasma arc welding area (middle and lower of weld), and the fracture of welded joints is mixed fracture based on ductile fracture. The analyzed microstructure of welded joints shows that: base material N6 is a single phase of austenite, the TIG zone of weld (middle and upper of weld) is mainly composed of coarse columnar crystals of austenite because of two heating, and the plasma arc welding zone of weld is composed of coarse cellular crystal of austenite.

Key words: plasma & TIG; nickel pipe; mixed fracture; microstructure

管道运输是当今综合运输体系的主要组成部分,与铁路、公路、水运、航空一起构成社会经济发展的基础产业^[1]。镍及镍合金管在制碱行业、氯碱化工及有机氯化物的生产、食品加工业、高温卤素及盐腐蚀环境、水处理、各种耐强碱设备等行业被广泛使用^[2]。目前国内外镍及镍合金管以无缝挤压管为主,无缝管制造工艺复杂、产品质量不稳定、壁厚不均匀、管内外表面光亮度低;焊接镍管与无缝挤压镍管相

比,具有制造工艺简单,合格率高,成本低等特点^[3]。

纯镍直缝焊管采用排辊成型机渐近弯曲实现自然成型,将镍板带纵向从端部经中部到尾部连续渐近弯曲成U形,最终形成O形圆筒,在距离挤压圆筒最紧处5~10mm的地方进行焊接。纯镍直缝焊管的成型及工艺部分包括上料→开卷→成型→焊接→整圆→定尺寸切断→收料→后续工序检测等,其中,焊接是保证镍管质量的最重要部分。纯镍焊接时易出现裂纹、气孔、熔合不良等缺陷^[4-6],因此,试验提出采用等离子+TIG双枪焊接N6纯镍管纵缝,充分利用等离子和TIG两种焊接方法的优点,实现焊缝正背面稳定成形,接头的力学性能和组织性能能够满足实际生产需要。

收稿日期:2015-07-20

基金项目:甘肃省科技重大专项计划资助项目(145RTSA004)

作者简介:王希靖(1956-),男,甘肃榆中人,教授,博士生导师,主要从事焊接设备及其自动化、搅拌摩擦焊技术及焊接质量控制方面的研究工作,发表论文120余篇;E-mail:wangxj@lut.cn

1 试验方法

1.1 试验材料

根据焊接镍管的成型特点及生产成本考虑,如图1所示,试验采用等离子+TIG双枪不填丝焊接方法对5mm厚N6纯镍管纵缝进行平板模拟试焊,为镍管成型后焊接工序提供实践指导。N6纯镍母材为经过退火处理的热轧板,尺寸为150mm×80mm×5mm化学成分见表1。

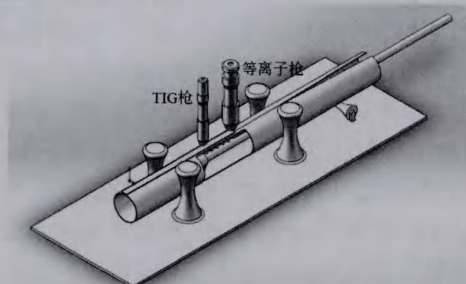


图1 镍管双枪焊接示意图

Fig.1 Double guns' welding sketch map of nickel pipe

表1 N6化学成分(质量分数,%)

Tab.1 Chemical composition of N6 (wt%)

Ni+Co	Mn	Fe	P	S	C	Si	Pb	杂质
99.5	0.05	0.10	0.002	0.005	0.10	0.10	0.002	≤0.50

1.2 试验方法及设备

等离子+TIG双枪焊接时,等离子枪在前,在120~200mm范围内紧跟TIG自由电弧,利用等离子电弧良好的小孔穿透能力,在较高焊接速度下,保证焊缝背面稳定成形,通过TIG焊自由电弧的良好覆盖能力,改善焊缝正面成形^[7]。试验使用一套以PLC为控制核心的PHW-500等离子焊机和WS-400氩弧焊机组合的焊接设备,包含CA-01工业冷水机和WRA-300S冷水机。采用I型坡口对接焊接,焊前对坡口及两侧30mm处进行严格的机械打磨和化学清理,焊接时离子气、等离子保护气、TIG保护气、焊缝背面保护气体均选用99.99%的纯氩气且为定值。根据前期大量试焊结果,确定了影响焊缝成型的主要因素为PAW(等离子焊接)焊接电流、TIG焊接电流、焊接速度、等离子枪和TIG枪之间的距离,采用正交试验优化焊接工艺参数,选用三水平四因素正交表,正交试验设计如表2,每组焊接工艺参数焊3个试样,逐个测量其抗拉强度并取平均值。焊后根据GB/T2651-2008《焊接接头拉伸试验方法》制取拉伸试样,采用WDW-100E型万能材

料试验机测试焊接接头的抗拉强度和延伸率,并利用扫描电镜(SEM)对接头的断面形貌进行观察分析;截取焊接接头对其焊缝和热影响区进行显微组织和硬度试验分析,研究N6纯镍管纵缝等离子+TIG焊接接头的组织和性能。

2 试验结果及分析

2.1 正交优化试验结果及分析

由表2中正交试验结果可知,焊接工艺因素PAW电流、TIG电流、焊接速度、两枪距离合理匹配时,焊缝成形良好,能够得到较好的接头质量。根据各因素各水平所对应的抗拉强度均值,以各因素每一水平的抗拉强度最大值确定各因素最佳水平,分析试验结果得到,等离子+TIG焊接5mm厚N6纯镍管的最优工艺参数为A1B1C3D1,即焊接速度180mm/min,PAW电流180A,TIG电流240A,两枪距离120mm。

表2 正交试验设计及结果

Tab.2 Designs and results of orthogonal experiment

试验号	因素A	因素B	因素C	因素D	抗拉强度/MPa
1	180	180	200	120	272
2	180	185	220	150	129
3	180	190	240	180	177
4	210	180	220	180	161
5	210	185	240	120	173
6	210	190	200	150	127
7	240	180	240	150	203
8	240	185	200	180	116
9	240	190	220	120	125
均值 k_1	192.667	212.000	171.667	190.000	
均值 k_2	153.667	139.333	138.333	153.000	
均值 k_3	148.000	143.000	184.333	151.333	
极差R	44.667	72.667	46.000	38.667	

正交试验分析得出的最优工艺参数A1B1C3D1在正交试验方案中没有列出,因此进行了工艺验证性试验,采用同样的焊接过程,运用焊接工艺参数A1B1C3D1进行焊接并截取拉伸试样,拉伸试验结果表明,焊接接头抗拉强度为328MPa,达到母材抗拉强度的90%,延伸率为38%,断裂在焊缝中心。

2.2 接头显微组织分析

图2为等离子+TIG双枪焊接接头的宏观形

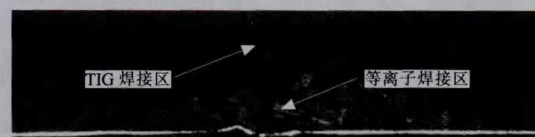


图2 接头宏观形貌

Fig.2 Macroscopic morphology of welded joints

貌,焊缝中下层是等离子焊接区,中上层为 TIG 焊接区。图 3(a)~(c)为纯镍 N6 最优焊接参数条件下的焊接接头的微观组织,图 3(d)为其他焊接参数不变, TIG 电流减小到 200A 时焊缝的 TIG 焊接区显微组织。从图 3(a)可以看出 N6 母材为单相奥氏体组织,由细小均匀的等轴晶组成;图 3(b)为焊缝的等离子焊接区,由粗大的奥氏体胞状晶组成,每个大晶粒内部又存在一些小的胞状树枝晶;图 3(c)为焊缝的 TIG 焊接区,主要由粗大的奥氏体柱状晶组成,热影响区与熔池界面为液态金属的结晶析出提供质点,并以此为基点向前延伸长大,由于纯镍的导热系数小,等离子+TIG 双枪焊接时热输入量大,焊缝中上层在等离子电弧后再次受到 TIG 电弧热量,晶粒明显长大,因此最后形成方向均朝向焊缝表面的粗大柱状晶。图 3(d)中显微组织为晶粒较粗大的奥氏体柱状晶,与图 3(c)比较,该区域晶粒明显较小,这是因为 TIG 电流为 200A 时,电弧热输入量减少,焊缝中上层受热减小,因此晶粒较小。由于纯镍熔池的流动性差,固液相温度区间小,故焊缝表面成形差,易形成气孔,当 TIG 电流增大时,电弧热输入量大,液态熔池停留时间长,有利于氢和氧的逸出,可以消除焊缝中上层气孔,焊缝表面成形得到极大改善,因此 TIG 电流为 240A 时,TIG 焊接区晶粒明显长大,但

焊接接头的抗拉强度明显高于 TIG 电流为 200A 的焊接接头。

2.3 接头断口微观分析

选取拉伸试验的焊接接头进行断口二次电子扫描,图 4 为最优焊接参数条件下焊接接头的断口形貌,其中图 4(a)为焊接接头等离子焊接区断口形貌,可以观察到断口上存在较大的等轴状韧窝,韧窝深浅不一,由微孔合并形成;断口纤维区粗糙且范围较大,显示出等离子焊接区具有较好的塑性,为韧性断裂。图 4(b)为焊接接头 TIG 焊接区断口形貌,从图中可以看出,断口的纤维区和放射区均较粗糙,放射区范围大,断口局部区域存在韧窝形貌,韧窝小而浅,因此 TIG 焊接区属于脆性断裂。综合分析:等离子+TIG 焊接接头中等离子焊接区范围大,对整个焊接接头的断裂影响大,因此,焊接接头的断口属于以韧性断裂为主的混合断裂,而纯镍母材为韧性断裂,反应在延伸率指标上焊接接头的延伸率小于母材的延伸率。

对拉伸断口析出的二次相进行能谱分析,如图 5 所示,A 点析出物主要由 C、O、N、Ni 四种元素组成,其中 O 和 N 可能来源于空气。因此该不规则夹杂物为主要含 C、O、N 的二次相,属于硬脆化合物,在拉伸应力作用下,这些夹杂物首先脱离基体形

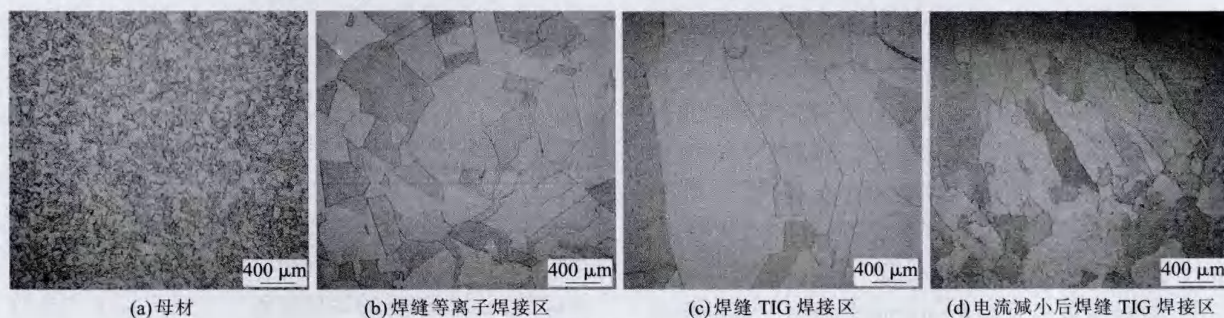


图 3 接头显微组织

Fig.3 Microstructure of welded joints



图 4 拉伸断口微观形貌

Fig.4 Tensile fracture SEM images of welded joints

图 5 二次相成分分析

Fig.5 Composition analysis of the second phase

成裂纹,是焊接接头拉伸断裂的源头。

2.4 接头显微硬度分析

对最优焊接工艺参数条件下的焊接接头进行显微硬度测试,由焊缝中心向母材移动,分别测试焊接接头的 TIG 焊接区和等离子焊接区的显微硬度,显微硬度分布图如图 6 所示。从图中可以看出,焊缝的等离子焊接区的显微硬度值高于焊缝的 TIG 焊接区, TIG 焊接热影响区的显微硬度平均值低于等离子焊接的热影响区,这是由于镍及镍合金焊接接头硬度与其平均晶粒直径的平方根成反比。对于曲线 1 和曲线 2,焊缝区和热影响区的显微硬度平均值均低于母材,这是因为母材晶粒细小,焊缝区和热影响区由于受热导致晶粒粗化,出现软化现象。

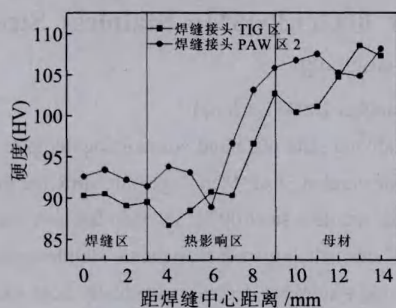


图6 接头显微硬度图
Fig.6 Microhardness of welded joints

3 结论

(1) 通过正交试验分析得出最优焊接工艺参数:焊接速度 180mm/min、PAW 电流 180A、TIG 电流 240A、两枪距离 120mm,并进行验证试验,结果表明,最优焊接工艺参数下,焊接接头抗拉强度达到

母材抗拉强度的 90%,明显高于其他工艺参数。

(2) 分析最优焊接工艺参数的焊接接头断口 SEM 形貌可知:焊接接头的断口属于以韧性断裂为主的混合断裂,而纯镍母材为韧性断裂,焊接接头的伸长率小于母材的伸长率。

(3) 分析等离子+TIG 焊接接头的显微组织和硬度得出以下结论:N6 母材为单相奥氏体组织,焊缝的 TIG 焊接区,由于两次受热,主要由粗大的奥氏体柱状晶组成,焊缝的等离子焊接区,由粗大的奥氏体胞状晶组成;焊缝的等离子焊接区的显微硬度值高于焊缝的 TIG 焊接区,焊接接头的焊缝区和热影响区的显微硬度平均值均低于母材。

(4) 等离子+TIG 双枪焊接纯镍 N6 是一种理想的焊接方法,焊缝正、背面成形良好,接头的组织和性能能够满足实际生产要求。

参考文献:

- [1] 李国栋,张浩. 大口径直缝焊管的排辊成型工艺[J]. 钢管, 2002, 31(2): 43-49.
- [2] 于立荣. 纯镍及纯镍与多种钢的 TIG 焊[J]. 焊接, 1993, (8): 17-20.
- [3] 吴达. 焊接镍管的试制与应用 [J]. 电子管技术, 1983(1): 21-25.
- [4] 中国机械工程学会. 焊接手册(第2卷. 材料的焊接)[M]. 北京:机械工业出版社, 2001: 644-717.
- [5] Wayne Z friend. Corrosion of Nickel and Nickel-base Alloys [M]. New York: Wiley, 1980.
- [6] 王希靖,柴廷玺,刘晓,等. 纯镍 N6 填丝等离子焊接工艺及接头组织性能的研究[J]. 稀有金属, 2015, 39(2): 103-110.
- [7] 董文宁,徐国会. 高效等离子焊接技术及其应用[J]. 电焊机, 2007, 37(9): 8-16. [4]

QC检测仪器网
WWW.QCTESTER.COM

欢迎点击 查看更多 精彩内容
WWW.QCTester.com

全新改版上线

更便于 搜寻仪器、专业展会、专业期刊 更多 行业信息、供求信息
咨询电话: 010-64385345 010-85411214
E-mail: qctester@126.com