不锈钢免充氩焊接工艺开发

扫码了解更多

■ 陆传航，蔡新荣，朱大喜

摘要：针对316奥氏体不锈钢开发了一种免充氩焊接工艺。采用该工艺，在打底焊接时无需背面充氩气保护，此工艺可省去充氩时间，提高施工效率。由于打底材料为含药芯的TIG焊丝，其成形以及药渣的保护性是否合格将直接影响焊道性能。通过一系列的力学性能测试和金相分析及腐蚀试验，证明该工艺可以获得符合要求的焊接接头，焊接质量优良。

关键词：免充氩；316不锈钢；力学性能；金相分析；晶间腐蚀

在海洋石油工程液化天然气管道及终端模块工艺管道的建造中，奥氏体不锈钢由于其经济性在工艺管道的设计中具有广泛的应用空间。目前应用较多的304或316钢种，在焊接过程中必须对根部焊道进行保护，防止氧化。

目前应用最为广泛的焊接工艺大都是在根部焊接时采用背面充氩气方式，并采用多种工具进行排气，保证焊缝区域附近氧含量降低至规定数值。对于大管径的管道而言，背面保护气氧含量达标耗时较长，同时根部焊接过程中必须打磨接头，打磨过程造成焊接区域保护气体氧含量不达标且恢复时间较长，影响场地的施工效率。

包含药芯的TIG材料，焊渣对背面焊道形成保护，没有背面保护也可以单面焊双面成形焊接。但由于工艺特性，其性能与可靠性有待研究。

1. 试件焊接

采用日本神钢TG—X316L氩弧药芯焊丝作为封底材料，昆山天泰TGS—316L 氩弧实芯焊丝作为填充及盖面焊材进行工艺测试。试验件尺寸为ϕ500mm×12.7mm，材料为ASTMA358 Gr316/316L，母材为双标材料，符合316不锈钢强度同时满足316L不锈钢的低碳含量要求。试验用钢材和焊材的化学成分如表1所示，试验用焊接参数如表2所示。

由于药芯焊丝在焊接时与实芯焊丝的操作手法和电弧摆动频率有区别，因此需要注意以下操

表1 钢材与焊材化学成分（质量分数） （%）

材料成分	C	P	S	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	N	Cu	Nb
ASTMA358 Gr316/316L	0.025	0.031	0.009	0.70	0.90	10.32	17.60	2.05	0.04	—	—
TGX—316L	0.01	0.02	0.003	0.77	1.38	12.21	18.40	2.25	0.02	0.08	0.01
TGS—316L	0.022	0.021	0.008	0.544	2.04	12.6	18.5	2.11	—	0.036	—

表2 焊接参数

焊道	焊接方法	焊材	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接热输入/kJ·mm^{-1}
打底	氩弧焊	TGX—316L	85~90	11~12	1.20~1.45
热焊道	氩弧焊	TGS—316L	90~100	12~13	1.20~1.50
填充	氩弧焊	TGS—316L	110~140	12~13	1.10~1.80
盖面	氩弧焊	TGS—316L	120~140	12~13	1.40~1.70

作要领：①焊枪圆弧摆动，避免出现未熔合，填充过程焊丝向熔池根部轻压，保证根部成形。②当发现熔池增大并下凹时需加快焊接速度，反之出现窄而高的熔池时，需要降低焊接速度。③为避免接头收弧缩孔，焊接尽量采用短弧焊，保证药芯焊丝的焊接冶金反应。

在测试过程中可以发现，完成焊接后，由于根部保护性药皮的存在，焊道根部内侧颜色符合AWS D18.2中变色要求。为了测试其性能，按照标准进行了相关试样的制备和分析。

2. 试件性能分析

（1）力学性能　焊接完成通过无损检测RT/PT后，按照ASME IX标准进行力学性能测试，其相关测试结果如表3所示。

从力学性能测试的结果来看，焊接接头的拉伸强度高于母材最小抗拉强度515MPa下限，接头的拉伸性能符合标准要求；侧弯试件弯曲180°没有出现裂纹、未熔合缺陷，表明焊接接头具备良好的塑性，冲击试验性能可以说明焊材及母材在-196℃低温条件下具备优异的韧性。

（2）金相分析　对试样的根部、填充焊缝金属、热影响区以及母材进行金相分析，观察其组织构成，特别是根部区域金相组织。众所周知，奥氏体不锈钢焊缝中需要形成一定数量的铁素体，以防止焊缝产生凝固裂纹，铁素体可以大量溶解S、P、Si和Nb等元素，防止偏析和低熔点共晶，但含量过多会引起奥氏体不锈钢脆化。运用WRC图的铬和镍当量计算公式，可得到根部焊材TGX—316L铬当量和镍当量分别为20.657%和12.96%，铬镍当量比为1.59，填充TGS—316L焊材的铬当量和镍当量分别为20.61%和13.26%，铬镍当量比为1.55。原始母材的镍当量和铬当量分别为19.65%和11.87%，铬镍当量比为1.65。

由于母材和填充金属的成分相似，熔合比对焊缝金属的成分影响不大，因此按照WRC图可以估算得到316L焊缝中铁素体数大约为FN6~8，可以有效阻止热裂纹的形成。焊缝金属的铬镍当量比在1.51~2.0之间，熔池材料的凝固模式一般为铁素体-奥氏体凝固模式（FA凝固型）。这种凝固型可以得到残余骨架状或板条状铁素体在奥氏体中，断裂韧性好，一般认为此种凝固模式得到的组织是最好的。表4为使用Fischer FERITSCOPE FMP30铁素体测试仪对焊缝金属进行铁素体测试的结果，图1为焊缝及热影响区金相组织。

表4实测数据显示，焊缝实测铁素体数FN基本位于WRC图预测范围之内。从图1中可以看到，焊缝根部和填充焊道组织均匀，晶粒细小。焊缝中心和焊缝根部区域组织均为奥氏体基体+断续分布的骨架状铁素体，铁素体均匀分布在奥氏体基体上，形成凹凸不平的晶界，细化奥氏体晶粒同时将有利于抵抗焊缝中裂纹的扩展。热影响区组织为单一的奥氏体组织。

（3）腐蚀试验分析　对比母材w_C=0.025%，焊材w_C=0.01%以及w_C=0.022%为低碳含量，特别是打底焊材适量添加的稳定化元素Nb，将有效避免晶界上出现

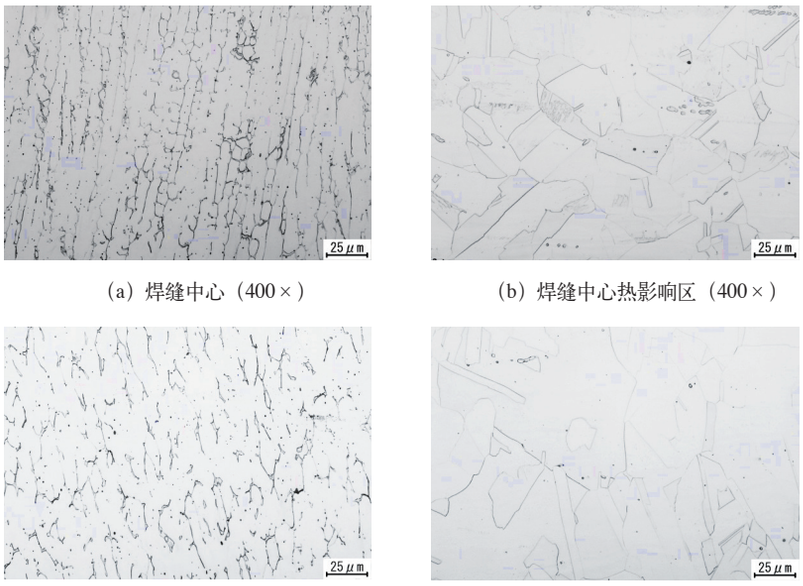
表3　焊接接头主要力学性能试验结果

拉伸试验					弯曲试验		
试件编号	抗拉强度/MPa				试件编号	弯曲180°[1]	
B1	590				B3/B4	合格	
B2	589				B5/B6	合格	
夏比V型冲击试验-196℃							
试件编号[2]	冲击吸收能量/J				侧向膨胀值/mm		
	单值			均值	单值		
B9	82	80	114	95	1.10	0.90	1.26
B10	172	166	151	163	1.68	1.78	1.74
B11	244	250	240	245	2.06	2.10	2.24
B12	262	272	252	262	2.38	2.44	2.44

注：1. 弯曲类型均为侧弯，结果未出现裂纹、未熔合等缺陷。
2. B9、B 10、B 11、B 12分别代表焊缝、熔合线、熔合线+2mm、熔合线+5mm，每个编号分别取3个冲击试件，试件尺寸为10mm×10mm。

表4　焊接接头铁素体测量数值

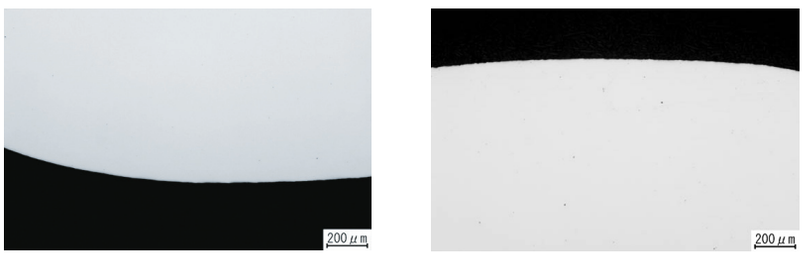
试件编号	测试位置	测试数值FN
B7	盖面焊道	7.8/7.5/7.6/7.8/6.8
B7	根部焊道	5.5/5.7
B8	盖面焊道	6.5/6.4/7.6/7.5/7.3
B8	根部焊道	5.4/5.0



（a）焊缝中心（400×）　（b）焊缝中心热影响区（400×）

（c）焊缝根部（400×）　（d）焊缝根部热影响区（400×）

图 1　焊缝及HAZ金相组织



（a）根部区域（50×）　（b）盖面区域（50×）

图 2　晶间腐蚀后弯曲试样微观组织

碳铬化合物，有效提高焊缝的耐腐蚀性能。针对不锈钢比较容易出现的晶间腐蚀倾向，按照国际标准ASTM A262 方法E铜-硫酸铜-16%硫酸试验方法制备试验试样，试验周期为15h，试验结束后，经清晰干燥弯曲后检查试件并无裂纹产生。图2为试验后在弯曲试样纵向外截面外半径的微观未刻蚀图，其中并未发现任何晶间腐蚀裂纹。

3. 结语

（1）药芯不锈钢焊丝打底可以实现在免充氩状态下单面焊双面成形焊接，焊接过程注意操作要领后可以保证外观成形良好。由于节约了背面保护性氩气、工装及辅助用工，所以在降低成本的同时可以提升焊接施工效率。

（2）工艺开发所选取的焊材操作性能稳定，易于掌握。同时焊材本身具备稳定的超低温性能以及耐晶间腐蚀抗性，焊后焊缝组织均匀，满足标准要求。此方法可以用于奥氏体不锈钢的免充氩焊接施工。

参考文献：

[1] 丁文柱，郭建封，李世会.不锈钢管道药芯焊丝钨极氩弧焊焊接工艺[J]. 现代焊接，2016（1）：53-55.

[2] 杨文平.443铁素体不锈钢随焊冷却焊接接头的组织和性能研究[D].山西：太原理工大学，2012，1-68.

作者简介：陆传航等，海洋石油工程（青岛）有限公司。

MW 20171204

《金属加工（热加工）》2018年第3期广告目次

广州阿比泰克焊接技术有限公司	1209	封面A
金属加工APP	8000	封二A
梅塞尔切割焊接（中国）有限公司	1126	封面B
北京时代科技股份有限公司	1258	封二B
天津天高感应加热有限公司	1943	封三
埃马克机床（太仓）有限公司	5088	封底
法国液化空气焊接公司上海代表处	1404	前彩1
北京金威焊材有限公司	1161	前彩2
应达工业（上海）有限公司	1127	前彩3
浩亭（珠海）贸易有限公司	5312	前彩4
十堰高周波科工贸有限公司	5096	前彩5
江苏中兴西田数控科技有限公司	5628	前彩6
2018慕尼黑光博会	8039	前彩7
第十六届中国国际铸造博览会	6004	前彩8
金属加工杂志社	8000	Ⅰ
海别得（上海）商贸有限公司	1697	Ⅲ
第十八届中国西部热处理工业炉展览会	6349	Ⅴ
第十六届中国国际工业炉及热处理技术展览会	6347	Ⅶ
第23届北京·埃森焊接与切割展览会	1380	分隔页A
金粉商城畅销书推荐	8000	分隔页B