



内衬不锈钢复合管焊接技术的研究及应用

卢忠华 晏宏学

【摘要】 主要介绍了将基层20钢+复层0Gr19Ni9不锈钢复合管应用于管路焊接制作，同时介绍了复合管的自身特点，探讨复合管之间焊接的工艺措施以及生产实际中的焊接技术。

关键词： 基层；复层；复合管；焊接工艺

1. 概述

本公司主要生产大型船用柴油机，柴油机总装完成后需要进行试车，以检验整体的性能。每个试车台位需要配套试车管路，管子内壁腐蚀是自始至终存在的

严重问题。在不影响管子承压的情况下，综合经济性、实用性、功能性考虑，选择了内衬不锈钢复合管。由于复合管的特殊性，属于双层金属焊接，焊接工作比单层钢板复杂得多，所以制定合

理有效的焊接工艺是关键。

2. 复合管性能分析

内衬不锈钢复合管由基层和复层组成，基层为20钢的碳钢管，复层为0Gr19Ni9的不锈钢管。通过在不锈钢复管内壁施加

条误差控制在0~0.5mm。整型完成后再次对修补面进行MT100%检测和相控阵检测，确保焊接质量和使用安全。

3. 修补结果

齿条修补焊接完成后，平台进行了升降试验和风电安装作业，目前桩腿的运行情况良好，齿条堆焊修补前后如图4、图5所示。为监控齿条的后续使用情况，对每一个修补的齿条建立修补的记录文档，定期检查齿条的使用状况，为日后可能出现的其他磨损齿条的修补提供参考。同时，在自升式安装平台使用过程中需要加强设备的管理，严格

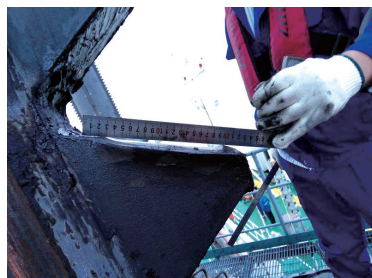


图4 磨损齿条修补前



图5 磨损齿条修补后

控制平台在可变荷载设计范围内，加强齿条日常磨损的检查和检测。

4. 结语

本文主要介绍了齿轮齿条升降式风电安装平台齿条修补工艺，利用齿条堆焊修补技术，可以在最短的时间内解决磨损齿条的修复和齿条损坏的现场应急修复，提高平台的使用寿命和作业安全，可为后续风电设备的安装提供保障。

作者简介：杜仕忠等，南通振华重型装备制造有限公司。

MW 20170223

高压，使其与基管达到紧密接触，形成完全贴合的内衬层。复合后满足结构强度及钢性的要求，复层满足耐腐蚀性要求。基层厚度一般较大，其主要作用是承受介质压力；复层厚度一般较小，只占总厚度的10%~20%，从而达到低成本高收益。

20钢属于优质低碳钢，是压力容器和压力管道的常用钢材，具有较高的强度，良好的塑性及韧性，焊接性很好。0Gr19Ni9属于奥氏体不锈钢，具有优异的耐腐蚀性，良好的工艺性和焊接性。两种材料的化学成分和力学性能如表1和表2所示。

3. 工艺方案

不锈钢复合管采用焊接方法是手工钨极氩弧焊。打底层和过渡层，管子内部需要充氩气对焊缝背面进行保护，否则将产生严重的氧化，影响焊缝成形和焊接性能。

焊接制作过程中，主要工艺步骤包括：管子切割→坡口加工→端部封焊→打磨坡口→组装→焊接→焊缝检测→水压试验→酸洗→气密性试验等几个部分。

4. 焊前准备

(1) 下料及坡口加工 复合管的切割下料与坡口加工采用冷加工方法。

切割采用带锯床或是无齿锯进行切割，长度尺寸预留2~3mm加工余量。管子切割后将切口修整光滑，毛刺打磨干净。用车床进行坡口加工，复合管的坡口开在基层一侧，坡口形式为单V形（见图1）。

(2) 焊材的选择 由于不

锈钢复合管的特殊性，焊接需要采用三种不同的焊接材料来焊接同一条焊缝，以便保证焊缝质量。端部封焊采用 $\phi 1.6\text{mm}$ 、ER309L焊丝，打底焊采用 $\phi 2.4\text{mm}$ 、ER308L焊丝，过渡层采用 $\phi 2.4\text{mm}$ 、ER309L焊丝，填充与盖面层采用 $\phi 2.4\text{mm}$ 、ER70S—6焊丝。焊材的化学成分及力学性能如表3、表4所示。

(3) 气体的选择 钨极氩弧焊（GTAW/141）保护气体选用纯度 $\geq 99.98\%$ 的氩气。氩气的调节方法是根据被焊金属材料、电流大小及焊接方法来决定的，电流越大，保护气越大，为了保护的效果好，气体流量与喷嘴直径要相互配合。

(4) 电极选择 氩弧焊

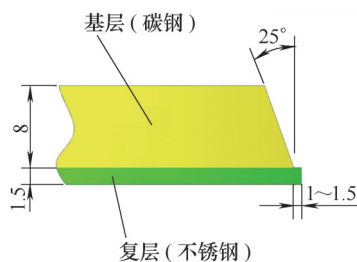


图1 复合管坡口加工

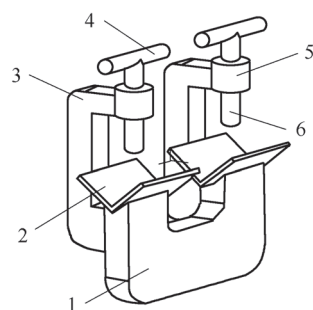


图2 管子组对工装

1.基座 2.角钢 3.支撑板 4.把手
5.螺母 6.丝杆

表1 基层及复层的化学成分（质量分数） (%)

牌号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
20钢	0.17~0.24	0.17~0.37	0.35~0.65	≤ 0.035	≤ 0.035	≤ 0.25	≤ 0.25
0Gr19Ni9	≤ 0.07	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.035	≤ 0.030	17~19	8~11

表2 基层及复层的力学性能

牌号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	A (%)	HBW
20钢	≥ 245	410~530	20	156
0Gr19Ni9	≥ 205	≥ 520	≥ 35	≤ 187

表3 焊材的化学成分（质量分数） (%)

牌号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
ER309L	0.03	0.60	1.80	0.008	0.015	24.0	13.0
ER308L	0.03	0.60	1.80	0.008	0.015	20.0	10.0
ER70S—6	0.07	1.27	0.76	0.014	0.015	—	—

表4 焊材的力学性能

牌号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	A (%)	KV ₂ /J
ER309L	≥ 420	≥ 550	≥ 25	—
ER308L	≥ 570	≥ 570	≥ 38	—
ER70S—6	≥ 420	≥ 500	≥ 22	$\geq 47 (-20^{\circ}\text{C})$

(GTAW/141) 电极选用铈钨极、 $\phi 2.5\text{mm}$ 。

5. 复合管焊接

(1) 复合管焊接工艺要求 焊接场所应采取防风、防寒等措施，确保施焊环境不低于 5°C ，当风速 $>2\text{m/s}$ 、相对湿度 $>90\%$ 时，禁止施焊。焊接前，应把准备焊接的区域 25mm 范围内清理干净，确保无切割和加工的切削液、油、铁锈、水垢或其他有害物质，以免焊接过程中产生气孔等缺陷。

(2) 复合管端部封焊 由于复合管的基层和复层只是通过挤压使内外壁贴合在一起，接触面存在空气、水分和油污等杂质，所以焊接过程中，受热会分解为水蒸气和 CO_2 气体，影响焊缝质量，产生气孔等缺陷。另外，由于复层和基层之间不易熔合在一起，所以需要复合管坡口一侧的端部进行封焊。封焊层可以起到封底焊作用，还可以增加坡口尖端不锈钢层的有效厚度，提高接头的抗腐蚀性能。

封焊选用较小的焊接电流，较快的焊接速度，电弧摆幅不宜过大，圆周均匀堆焊两层。采用 $\phi 1.6\text{mm}$ 、ER309L焊丝，电流一般应控制在 60A 左右，以防止不锈钢复层被烧穿。封焊后，用砂轮机将坡口修磨成 $25^{\circ} \pm 2.5^{\circ}$ 角，钝边约 1mm 。

(3) 复合管组对及定位焊 管子组对前，用丙酮或酒精清洗坡口两侧 25mm 范围。为了保证管子组对的精度，需采用工装。工装组对步骤（见图2）：把管子坡口一侧放到角钢2内，扭动把手6，利用丝杆4将管子压

紧，再把另一根管子按照相同的方法压紧，保证坡口间隙符合工艺要求的 $2\sim 3\text{mm}$ ，并且周围均匀。测量对接完的焊口，内外壁要求齐平，错边量不能超过复层壁厚的 10% ，且 $\leq 2\text{mm}$ 。

由于打底焊时会产生较大的焊接应力，影响打底焊背面成形，因此需要进行定位焊。定位焊采用三点焊法，每个焊点单面焊双面成形，长度一般为 $10\sim 15\text{mm}$ ，厚度为 $2\sim 3\text{mm}$ 。定位焊工艺必须与打底焊一致，采用 $\phi 2.4\text{mm}$ 、ER308L焊丝，电流一般应控制在 $80\sim 90\text{A}$ 。

由于复层材质是不锈钢，管子内部焊缝会产生严重的氧化，为保证焊缝成形和焊缝质量，管子内部必须进行充氩气保护。充氩气前，需要用纸胶带将所有的管口进行封闭，然后进行充氩，氩气流量为 $5\sim 14\text{L/min}$ 。

(4) 复合管对接焊 检测

定位焊缝，不得有裂纹及其他缺陷，若发现缺陷应及时清除。用砂轮机将所有定位焊焊点的两端修磨成缓坡状，以保证打底焊接头完全熔透。保证定位焊后的坡口角度为 $50^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 。

复合管对接焊时，共需要焊接4层，全部为单层单道焊。焊接顺序及焊接层数如图3所示。

由于复合管焊接的特殊性，需要采用三种不同的焊接材料来焊接，因此严禁焊材乱用，必须严格执行焊接工艺，各层的焊接参数如表5所示。

焊接中的注意事项如下：

第一，打底层焊接前，保证管子内部始终在氩气保护状态下。打底层焊接采用单面焊双面成形技术，是复合管焊接质量要求最高、难度最大的一步。

打底层焊送丝形式采用内填丝，要求坡口间隙大于焊丝直径，是用左手拇指、食指或中指

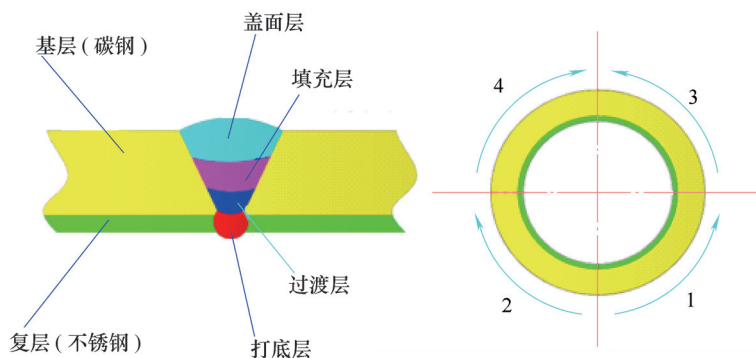


图3 焊接顺序及焊接层数

注：1~4代表焊接顺序。

表5 焊接参数

焊道名称	焊丝牌号	焊丝规格 ϕ/mm	焊接电流 $/\text{A}$	电流种类 $/\text{极性}$	焊接速度 $/\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$	气体流量 $/\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$
打底层	ER308L	2.4	80 ± 10	DC-	6 ± 3	6~8
过渡层	ER309L	2.4	120 ± 10	DC-	9 ± 3	8~10
填充层	ER70S—6	2.4	140 ± 10	DC-	9 ± 3	10~12
盖面层	ER70S—6	2.4	130 ± 10	DC-	7 ± 3	12~14

配合送丝动作，小指和无名指夹住焊丝控制方向，其焊丝则紧贴坡口内侧钝边处，与钝边一起熔化进行焊接。由于焊丝在坡口的反面，可以清晰地看清钝边和焊丝的熔化情况，眼睛的余光也可以看见反面余高的情况，所以焊缝熔合好，反面余高和未熔合可得到很好的控制。打底焊内部焊缝效果如图4所示。

第二，过渡层焊接前，管子内部继续充氩气进行保护。过渡层是复合管熔金属合金成分最为复杂的焊层，容易造成熔融合金浓度梯队过大，从而影响接头的防腐蚀性能。

过渡层焊接送丝形式采用外填丝，其焊丝头在坡口正面。电弧引燃后要在焊件开始的地方预热3~5s，形成熔池后开始送丝，左手捏焊丝，不断送进熔池进行焊接，焊丝送入要均匀，焊枪向前移动要平稳。

第三，填充层焊接时，为了保证熔融金属需要进行摆动焊，摆动最大幅度不能超过3倍焊芯直径。焊枪向前移动要平稳左右摆动，焊道两侧稍慢，中间稍快。

焊接过程中，要密切注意熔池的变化，熔池变大、焊缝变宽或出现下凹时，要加快焊速或重新调小焊接电流。当熔池熔合不好和送丝有送不动的感觉时，要降低焊接速度或加大焊接电流。

第四，盖面层焊缝外形与母材平滑过渡，接头与焊缝高低一致，焊缝宽窄均匀顺直，焊缝宽度以盖过坡口边缘1~1.5mm为宜。减少咬边出现，咬边深度 $\leq 0.5\text{mm}$ ，连续长度不应超过100mm，且焊缝两侧咬边总长度

不得超过该焊缝长度的10%。

6. 复合管检测

按照表6中的标准，对复合管焊缝进行VT和RT检测。

检测结果焊缝外观成形良好，外形平滑过渡。焊缝表面不得低于母材表面，焊缝余高 $\Delta h=1+0.2b$ ，且 $\leq 3\text{mm}$ （ b 为组对后的坡口宽度），不允许有裂纹、未熔合、气孔、夹渣等缺陷。对于无损检测不合格的返修部位，必须按照以上的工艺步骤进行，清除缺陷、补焊，补焊完成后进行无损检测。

7. 水压试验

用不低于5℃的水进行水压试验，试验压力为设计压力的1.5倍，保压时间 $\geq 15\text{min}$ 。检测内衬层是否泄漏，需要提前在基层管壁上加工1个M10×1螺纹孔，如有水流出，则内衬层发生渗漏；若没有水出现，则水压试验合格。

8. 气密试验

气密性试验应在液压试验合格后进行，试验所用气体应为干燥、清洁的空气、氮气或其他惰性气体，试验压力为设计压力的1.15倍。

首先把所有复合管管路联接在一起，然后开始升压，压力应缓慢上升，达到规定试验压力后保压10min，然后降至设计压



图4 打底焊内部焊缝效果

力，对所有焊缝和连接部位涂刷肥皂水进行检查，以无泄漏为合格。如有泄漏，修补后重新进行液压试验和气密性试验。

9. 酸洗

气密试验完成后，应对复合管内侧管壁及焊缝进行酸洗处理，采用酸洗膏A103进行处理，目的是为了清除焊缝及热影响区表面的氧化皮及碳化层。

10. 结语

内衬不锈钢复合管是在钢管内覆以薄壁不锈钢管，这样既降低了制造成本，又确保了厚度以保证强度，同时达到了管路内部防腐的要求，使安装内衬不锈钢复合钢管的费用大大低于厚壁纯不锈钢管。虽然内衬不锈钢复合钢管焊接难度比较大，但采用手工钨极氩弧焊（GTAW/141）进行封焊、打底焊、过渡层焊、填充焊、盖面焊的方法，并采取合适的工艺措施，经过实际运用的考验，能够完全满足设计要求的各项技术指标和使用性能。

表6 检测要求

名称	检测项	检测范围（%）	试验标准
复合管	VT	100	ISO5817
	RT	100	ISO 17636
	RT	100	ISO 10675

作者简介：卢忠华、晏宏学，青岛海西船舶柴油机有限公司。

MW 20170210