

等离子焊接工艺及装备在船用脱硫塔/洗涤塔制造中的应用

冯献

(昆山华恒焊接股份有限公司, 江苏 昆山 215300)

摘要: 为了解决船用脱硫塔/洗涤塔容器在制造过程中特殊不锈钢(超级奥氏体、双向不锈钢、镍基合金、哈氏合金)壁厚4-8mm不开坡口单面焊双面成型的难度,采用等离子焊接工艺方法,配备特定的工装及弧长、横摆功能,通过实践应用及等离子原理分析,解决了此焊接难题,本文并展望了脱硫塔/洗涤塔容器中特殊不锈钢直缝焊、环缝焊中采用等离子焊接工艺的应用前景。

关键词: 等离子、焊接、脱硫塔、洗涤塔、特殊不锈钢、双向不锈钢、应用。

0 前言

随着全球人们对环保意识要求的提高,目前运输船舶数量的剧增,船舶排放污染物对大气环境和海洋环境造成的污染和危害也日趋严重。国际海事公约(IMO)要求,根据全球海域船舶限硫规定MEPC.259(68)决议,要求各成员国船级社注册的船舶积极履行该决议,于2020年1月1日起,船舶烟气硫氧化物排放必须 $<0.5\%$ 。中国交通部也出台中国海域相关“限硫”规定,加快了船舶脱硫市场的发展。目前,减少船舶硫氧化物排放的有效方法之一是安装废气清洗系统(EGCS)进行处理,其经济性已被行业公认,所以船用脱硫洗涤装置的需求快速增长。

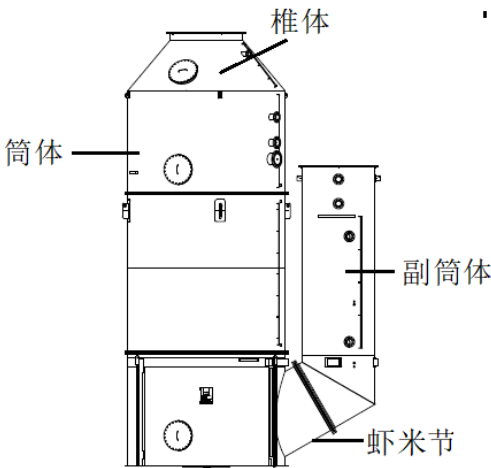
1 工件情况

船用脱硫塔主体部分主要是由筒体、椎体、法兰、加强圈、内部件、填充物等组成。目前制作主要使用材料为:超级奥氏体 smo254、双向不锈钢 2205/2507、904L、镍基合金等,并且由于材料的特殊性,目前市场上应用在此产品上的材料主要还是以国外进口为主。其产品对于腐蚀要求高,产品的使用设计年限要跟船的年限相当,目前在主体容器设计过程中主要使用的板材厚度为:4mm、5mm、6mm、8mm。主筒体工件示意图:

椎体主要有板材拼焊后压制而成,筒体有多节筒体对接焊后组成,副筒体有一个或多个小筒体对接焊后组成,虾米节为对接对接焊组成。

目前工件制造中焊接形式是筒体的纵环缝焊接、锥体和板材的拼接焊、筒体与法兰的角接焊等,采用的焊接工艺为传统手工TIG加丝焊接,焊接手

法主要有开坡口单面焊和留间隙两人双面同时焊接。采用此焊接工艺的现状:对于焊工技能要求高、焊接效率低下、焊接质量差(成型差、变形大、一致性差)、成本高(焊工要求高、焊丝使用成本高)。



2 等离子弧产生原理

等离子弧是离子气被电离产生高温离子化气体,并经过水冷喷嘴的机械压缩,从喷嘴中心小孔穿出而形成等离子电弧,其能量密度可达 $10^5-10^6\text{W}/\text{cm}^2$,比自由电弧(约 $10^5\text{W}/\text{cm}^2$ 以下)高,其温度可达18000-24000K,也高于自由电弧(5000-8000K)很多,等离子电弧焊接工艺的基本原理见图1。

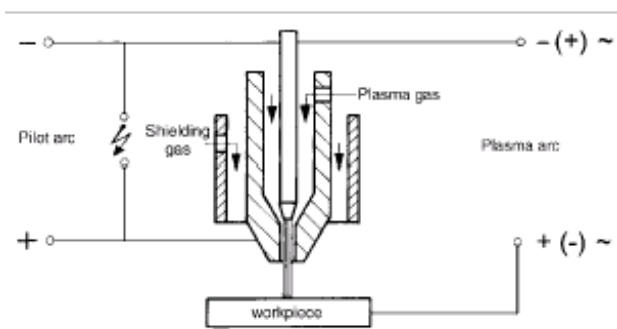


图 1 等离子电弧产生原理

2.1 等离子焊接工艺的优点

- 1) 穿透能力强，8mm 以下板厚无须开坡口，大大减小了焊前准备时间。
- 2) 电弧能量集中，焊接热影响区小，焊接变形小。
- 3) 焊接速度快，等离子比手工氩弧焊减小 4-5 倍时间。
- 4) 卓越的重复生产性。
- 5) 弧柱刚性大，采用小孔效应，可以实现稳定的单面焊双面成型。

- 6) 电极缩在喷嘴内，不易污染和烧损及电极寿命长，焊缝缺陷少。
- 7) 焊接质量好，可焊材料多。
- 8) 等离子弧具有良好的可控性和调节性等。

图 2 所示为 TIG 电弧与等离子电弧相比较，可以清楚的体现等离子电弧的优越性。从图可以看到，电弧在轴向增加 20% 弧柱截面积时，TIG 焊只有 0.12mm，而等离子弧却可以达到 1.2mm，可见等离子弧更挺，能量更集中。

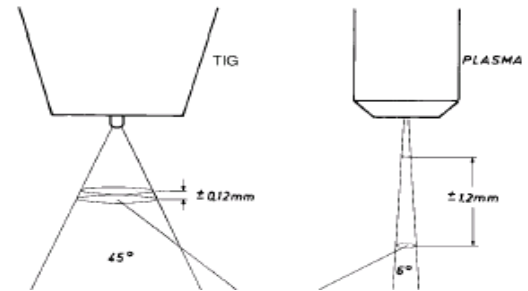


图 2 TIG 电弧与 PLASMA 电弧比较

2.2 等离子焊接设备介绍

等离子焊接设备包括焊接电源、焊枪、拖罩、专用制冷水箱、气路系统等部分组成见图 3。

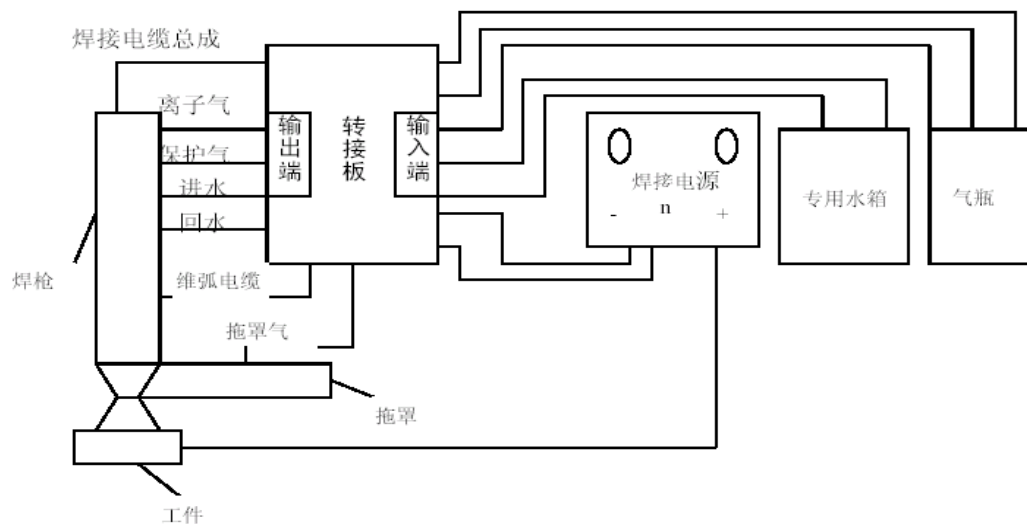


图 3 等离子焊接设备

1) 焊接电源

除焊接铝及其合金外，我们用直流电源见图 4。

该焊接电源采用最新技术的数字化逆变电源，可以在网络电压上下波动 $\pm 15\%$ 情况下正常工作，特别适合我国的基本国情；数字化电源系统响应速度快，控制精度高，性能稳定；维弧电流可以单独调节，保证维弧稳定。在脱硫塔筒体焊接中我们选用电源型号为 iArc 5000 PAW，其额定电流为 500A，40°C 时，暂载率为 60%。



图 4 等离子焊接电源

2) 等离子焊枪

等离子焊接时产生等离子电弧并用以进行焊接的工具称为等离子焊枪。如图 5 所示。焊枪的结构，制造的精度，制造的工艺等等，均会影响等离子焊枪的性能，也决定了等离子焊接的施焊工艺的难度。焊枪的冷却能力也是衡量等离子焊枪好坏的重要指标。焊枪的喷嘴，钨极夹必须得到充分的冷却。等离子焊接时，钨极一定要与喷嘴同心。内缩量可以自由调节是一把好等离子焊枪必须具备的能力。等离子焊枪喷嘴尺寸，孔径大小，结构形式也是影响焊接效果的重要因素，孔径尺寸根据板厚及焊接电流来决定。



图 5 等离子焊枪

3) 专用制冷水箱

由于等离子弧温度高，所以喷嘴的冷却效果的好坏，直接影响焊接过程中能量的稳定性，即能否产生稳定的等离子电弧，从而影响到焊接效果。鉴于此，等离子焊接一定要配置专用的制冷水箱，提供恒定的水温。

4) 高精度可调节的等离子气表

等离子气流量的大小，直接影响焊接能量，在焊接过程中，提供稳定的等离子气流量至关重要。因而一般的流量表满足不了等离子焊接需要，所以等离子焊接应配置高精度的等离子气表，其精度为 0.01L/min。

2.3 等离子焊接工艺

影响等离子焊接的工艺参数很多，焊接电流、焊接速度、等离子气流量、喷嘴孔道比、喷嘴孔径、钨极形状尺寸、钨极内缩量、送丝速度、冷却水温度、环境温度、背面保护气、正面保护气等都不同程度会影响等离子焊接的接头质量，图 6 所示为固化喷嘴孔道比、喷嘴孔径、钨极形状尺寸、冷却水温度后焊接电流、焊接速度、等离子气流量对中厚板焊缝成型的影响。

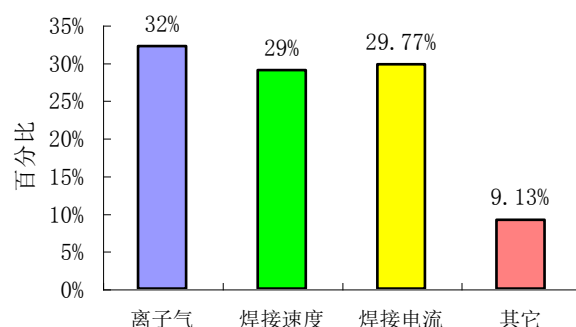


图 6 各参数对焊缝成型的影响

脱硫塔中 SM0254/双向不锈钢（2205/2507）/镍基合金等离子焊接的主要影响因素为焊接电流、焊接速度、等离子气流量、离子气体成分，其焊接工艺参数见表 1。

表 1 焊接工艺参数表

参数	离子气	焊接速度	焊接电流	送丝速度
板厚	L/min	mm/min	A	mm/min
4	3.0-4.5	220-400	160-180	根据工件状态
5	3.5-4.5	200-380	170-210	决定送丝速度

6	4.0-5.0	190-350	200-230	的大小
8	4.5-5.5	170-300	210-250	

*备注：保护气的种类可选择 Ar+H₂ 混合气体，有利于提高电弧的能量，从而提高焊接速度；并且可增强焊后焊缝颜色的亮度。

3 等离子焊接系统在脱硫塔筒体焊接中的应用

此行业筒体直径一般在 2000mm-7500mm, 材质为 SM0254、双向不锈钢 2205/2507、镍基合金，厚度 4-8mm，焊缝质量要求外观成型美观，X 射线探伤二级合格（抽检），机械性能达标、腐蚀性能达标。我们采取的工艺是 4-8mm 等离子单面焊双面一次成型。

1) 设备配置

该系统由等离子焊接电源，等离子焊枪，专用制冷水箱，送丝机构，可编程控制箱，焊接工装，背气保护装置等组成。

2) 筒体及拼板直缝焊接工装

该机构工装主要有安装在地上的机座、琴键夹具、芯轴、托架、气路系统组成。

◆ 机座

机座主要起固定在地面上的作用，并且夹具体安装在机座上，正面设有矩型线性导轨，在两线性导轨中间安装有丝杆，背面装有配重块与夹具体用链条连接，通过齿轮过渡，顶面装有升降驱动机构，由电机驱动经齿轮箱减速后带动丝杆传动实现升降。

降。

◆ 琴键夹具

琴键夹具为左右对称的两套，可分别对纵缝的两边施加压力。本夹具主要用于筒体的外缝焊接，亦可用于大直径筒体的内缝焊接。

◆ 芯轴

芯轴上镶有铜质衬垫（焊垫），与上述的琴键式压指一起对焊件进行夹紧固定。衬垫的背面有成型槽，槽内小孔可通保护气体。

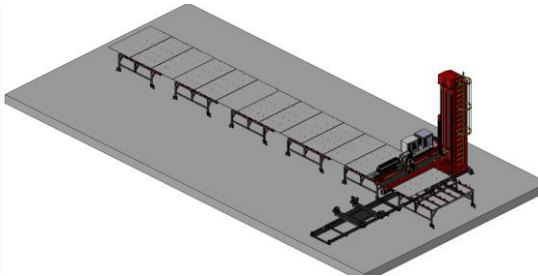
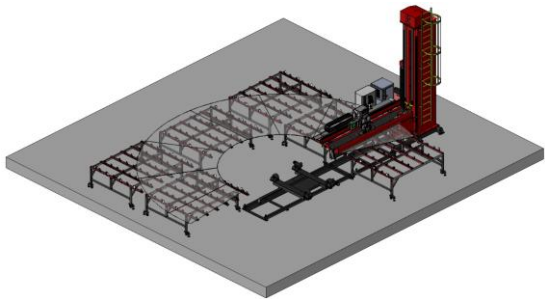
◆ 托架

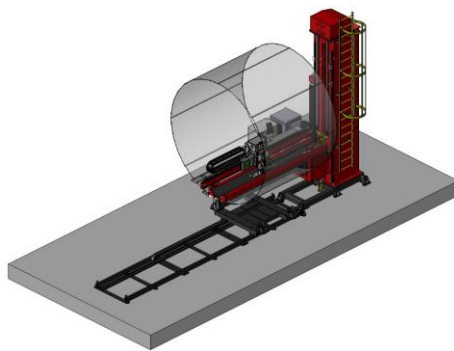
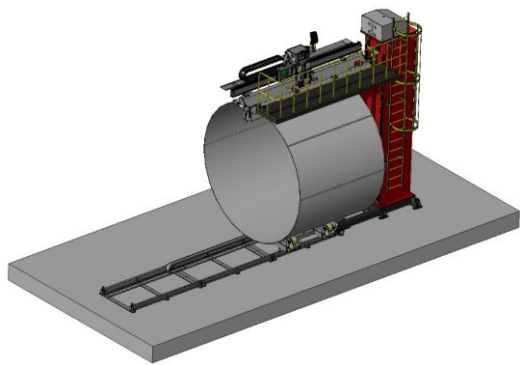
托架安装在夹具体的端头，是连接琴键夹具与芯轴的装置。其结构为框形，通过芯轴下端的螺栓调整，使芯轴与压指的间距在水平轴向平行。在焊接时，托架气动上翻，焊件装入后，托架气动下翻，并锁紧。

◆ 气路系统

压缩空气气路系统装在机座内腔，由过滤器（分别 2 组）、减压阀、压力表和电磁阀等组成。

3) 焊接示意图（锥板拼接、板材拼接、筒体内外直缝）

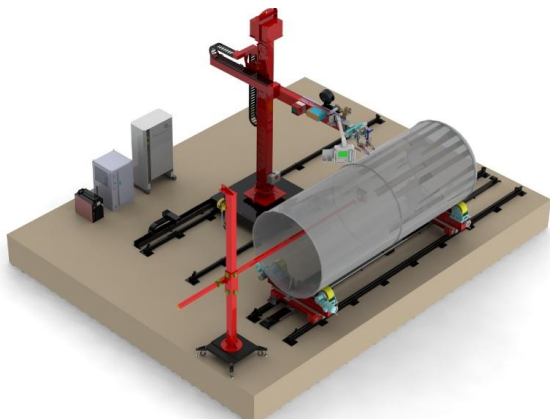




5) 筒体环缝焊接工装

此工装根据其筒体的大小，我们分别采用卧焊和横焊方式。卧焊工装主要有操作机、滚轮架、背气保护工装等组成；横焊工装主要有操作机、地转盘、背气保护工装等组成。

6) 两种环缝焊接示意图



7) 实际应用及焊接效果

某脱硫塔筒体焊接现场材质为 SM0254，厚度为 6mm，传统的焊接工艺采用 TIG 焊接工艺，利用等离子焊接设备后，焊接生产率大大提升，返修率减少

到接近于零，实际应用如图 7 所示，焊接效果如图 8、图 9 所示。

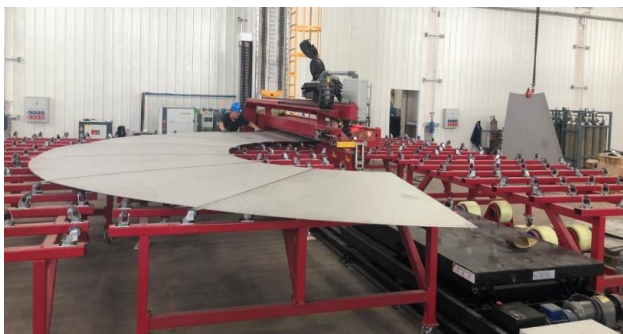




图 10 实际应用



图 9 直焊缝正、背面



图 10 环焊缝正、背面

8) 等离子焊接腐蚀试验报告
SM0254 腐蚀报告:

Test Method: ASTM G48-11(2015) Method A

Step 2. Immersing specimen in 6%FeCl₃ solution keeping 24h;

Test results:

Test item	Test period (h)	Test temperature (°C)	Pitting	Mass loss, g/m ²	Before the test weight (g)	After the test weight (g)	Superficial area (mm ²)	Deepest pit (mm)
Req.	24	40±2	-	≤ 1	-			
Results	24	40±2	No	0.68	56.3556	56.3523	4836.71	No
Con.	Pass							

Pitting corrosion test:

Test Method: ASTM G48-11(2015) Method A

Step 2. Immersing specimen in 6%FeCl₃ solution keeping 24h:

Step 3. After test, removing corrosion products, cleaning, air-dry, weighing, calculating the specimen mass loss.

Test results:

Test item	Test period (h)	Test temperature (°C)	Pitting	Mass loss, g/m ²	Before the test weight (g)	After the test weight (g)	Superficial area (mm ²)	Deepest pit (mm)
Req.	24	40±2	-	≤ 1	-			
Results	24	40±2	No	0	82.0418	82.0418	5150.99	No
Con.	Pass							

Pitting corrosion test:

Test Method: ASTM G48-11(2015) Method A

Step 2. Immersing specimen in 6%FeCl₃ solution keeping 24h;

Step 3. After test, removing corrosion products, cleaning, air-dry, weighing, calculating the specimen mass loss.

Test results:

Test item	Test period (h)	Test temperature (°C)	Pitting	Mass loss, g/m ²	Before the test weight (g)	After the test weight (g)	Superficial area (mm ²)	Deepest pit (mm)
Req.	24	22±2	-	≤ 1	-			
Results	24	22±2	No	0	73.3889	73.3889	5055.51	No
Con.	Pass							

6 结束语

用等离子自动焊接在船用脱硫塔容器中取代传统的手工 TIG 焊接方法,不仅可以大大降低制造成本,而且提高了焊接质量及生产效率,有利于改善目前我国脱硫塔容器制造落后的状态,为我国船用环保快速发展提供助力。

参考文献

- [1] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册 (第 2 卷)
- [2] 陈祝年. 焊接工程师手册 北京. 机械工业出版社, 2002.

作者简介: 冯献, 男, 1981 年出生, 高级项目经理, 从事切割焊接自动化十多年 Email:x.feng@huahengweld.com , Tel:13913206968

仅供交流



江苏船舶微信公众号



江苏船舶网上投稿系统