



# 双相不锈钢2205的焊接工艺

杨永良 王田勇 李斌

**【摘要】** 针对我公司承接的双相不锈钢绝缘接头产品，分析了2205材料的焊接性，确定了氩弧焊打底+热丝TIG焊填充盖面的工艺方法。焊接工艺评定试件通过了力学性能试验和各项腐蚀试验。按照该工艺焊接的产品质量稳定，已顺利交付用户。

**关键词：** 双相不锈钢；焊接工艺评定；热丝TIG焊

## 1. 概述

我公司为某气田试采地面工程生产的绝缘接头产品，其中的法兰组件由S22053锻环和S32205管子组焊而成，如图1所示。该产品针对的介质为富含氯离子的原料气，设计压力16MPa，设计

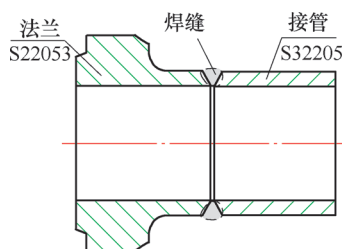


图1 绝缘接头法兰组件

温度75℃。为保证焊缝性能安全可靠，我们进行了焊接工艺评定。

## 2. 双相不锈钢2205焊接性分析

2205双相不锈钢的焊接质量，决定于其焊接接头的铁素体和奥氏体含量的平衡和两相组织

表2 钛焊接的氧化温度与颜色变化

| 氧化温度/℃ | 200 | 300 | 400      | 500     | 600 | 700~800 | 800~900 |
|--------|-----|-----|----------|---------|-----|---------|---------|
| 氧化颜色   | 银白色 | 淡黄色 | 金黄色      | 蓝色      | 紫色  | 红灰色     | 黄白色     |
| 质量判定   | 合格  |     | 勉强接受（去除） | 不合格（返修） |     |         |         |

变为银白色，焊缝成形也好，但这是绝对不允许的。因为这会造成焊缝内部氧、氮含量增加，塑韧性显著降低。此时应将保护不良的这层焊缝清除掉，再重新焊接。

## 6. 结语

工业纯钛具有良好的焊接性，保证其焊接质量的关键在于生产管理的控制。优化结构设计避免钛和钢会有熔焊的情况。通

过采用特殊的大口径焊枪，可以有效地保护高温部位不被氧化。采用丙酮擦拭、清理和清洁环境

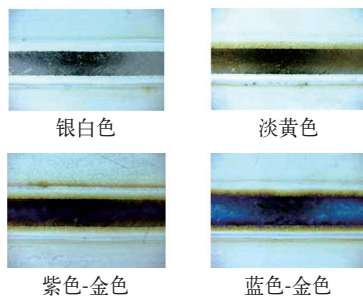


图6 钛焊接的颜色变化照片

等措施，很好地预防了气孔的发生。该项目交付在海洋平台使用了两年后，打开管箱检查未发现

## 参考文献：

- [1] 中国机械工程师学会焊接学会. 焊接手册（第2卷）——材料的焊接[M].北京：机械工业出版社，2009.
- [2] [德]C.莱茵斯 M.皮特尔斯编. 钛与钛合金[M].北京：化学工业出版社，2005.

作者简介：白晓科等，杰瑞石油天然气工程有限公司。

MW 20160521

的均匀性。在焊接过程中，金属从熔融到冷却，在800~475℃温度区将可能有中间相（σ相、碳化物、氮化物）析出。若焊接热输入太小，不利于奥氏体析出，δ铁素体含量的增加将导致冲击韧性和耐蚀性降低；热输入太大，则会引起合金元素Cr、Ni、Mo的烧损，导致材料的耐腐蚀性能下降、力学性能劣化，不能得到良好的两相组织，更容易析出中间相。因此，选择合适的焊接参数十分重要。

与奥氏体不锈钢的焊接相比，2205双相不锈钢的焊接对污染更敏感，任何类型的油污、油脂和水分等污染物都会影响材料的抗腐蚀性及其力学性能，因此在焊接前要对材料严格清理。

与奥氏体钢相比，双相不锈钢具有导热性好和热膨胀系数低的特点，因此残余应力较小，抵抗热裂纹的能力强，故双相不锈钢可以采用较大热输入焊接，最高层间温度为150℃。当工件较多时，可通过几个焊口轮流施焊的方式，保证焊缝层间有足够的冷却时间，这样既能保证层间温度，又能提高劳动生产率。

### 3. 工艺评定

（1）试件的焊接 工艺评定试件由钢管和锻环组成。钢管材质为S32205，尺寸为φ152mm×10mm×130mm；锻环材质为S22053，将尺寸加工至与钢管尺寸相同。

焊接采用手工氩弧焊打底+自动热丝TIG焊填充盖面的方法，焊接位置为水平转动，采用适中的工艺参数，控制层间温度≤150℃。由于绝缘接头产品

焊缝最终要进行固溶处理，因此，工艺评定试件也进行相应的焊后固溶处理（加热至1 050~1 100℃，水淬）。焊接工艺评定试件焊接主要参数如表1所示。焊缝如图2所示。

在保护气体中加入一定比例的氮，可以防止焊缝表面因扩散而损失氮，有助于铁素体与奥氏体的平衡，防止铁素体含量超标，提高焊缝的耐腐蚀性能。本次评定试件的焊接，焊枪部分的保护气体为85%Ar+15%N<sub>2</sub>，流量为12L/min；焊缝背面的保护气体为97%Ar+3%N<sub>2</sub>，流量为14L/min。

#### （2）工艺评定试件性能试

验结果 工艺评定性能试验项目包括常规的接头拉伸、弯曲，低温（-40℃）冲击试验和铁素体含量检测。工艺评定主要性能试验结果如表2所示。

（3）有害金属间相及金相检测 依据ASTM A923—14标准方法A，对试样进行有害金属间相检测。试样的横截面显微组织未见有害金属间相析出，显微组织如图3所示。

（4）焊接接头的晶间腐蚀试验 依据GB/T 4334—2008 E法进行晶间腐蚀敏感性评价试验。将四个试样放在沸腾Cu-CuSO<sub>4</sub>-16%H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>溶液中，经16h试验后，对试样进行180°弯

表1 工艺评定主要焊接参数

| 焊缝层次 | 焊接方法   | 焊丝             | 焊接电流 /A | 电弧电压 /V | 焊接速度 /cm·min <sup>-1</sup> | 热输入 /kJ·cm <sup>-1</sup> |
|------|--------|----------------|---------|---------|----------------------------|--------------------------|
| 1    | 手工氩弧焊  | ER2209, φ2.5mm | 105~110 | 10~12   | 5~6                        | 10.5~16                  |
| 2    | 热丝TIG焊 | ER2209, φ1.2mm | 170~180 | 10~11   | 8~9                        | 11~15                    |
| 3~5  | 热丝TIG焊 | ER2209, φ1.2mm | 160~170 | 10~11   | 7~8                        | 12~16                    |

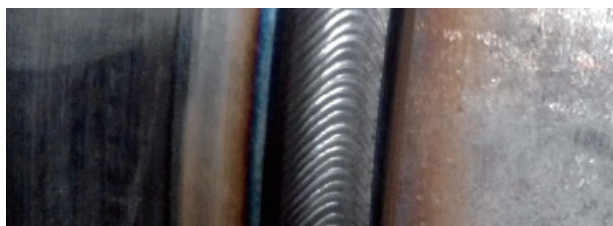


图2 焊接工艺评定试件焊缝

表2 工艺评定主要性能试验结果

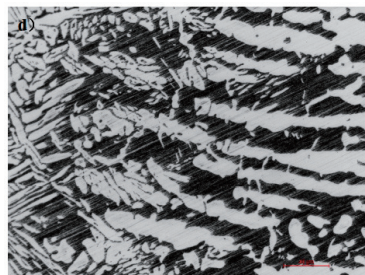
| 项目 | 抗拉强度 /MPa  | 侧弯 (弯轴直径4T) | -40℃冲击吸收能量 /J                                                       | 铁素体含量 (质量分数, %)                             |
|----|------------|-------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 标准 | ≥620       | —           | ≥50                                                                 | 焊缝及热影响区: 30~60                              |
| 实测 | 710<br>730 | 弯曲180°, 完好  | 焊缝: 99/102/97<br>S22053热影响区: 166/147/155<br>S32205热影响区: 192/205/171 | 焊缝区: 35<br>S22053热影响区: 46<br>S32205热影响区: 40 |

曲，弯头直径5mm。弯曲后，试样未发生断裂，在10倍显微镜下观察弯曲部位均未发现裂纹。试验后试样宏观形貌如图4所示。

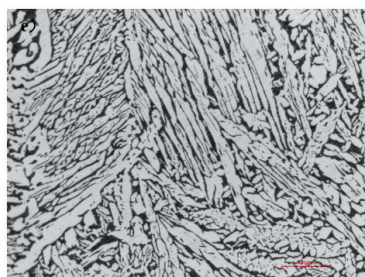
(5) 焊接接头的抗氯化物应力腐蚀试验 依据ASTM G36—2006、ISO 7539: 2—1989标准进行CaCl<sub>2</sub>应力腐蚀检测。将试样放在40%沸腾CaCl<sub>2</sub>溶液中（温度100℃±1.0℃），加载应力为80%σ<sub>0.5</sub>，经720h试验周期后，三个试样均未发生断裂，



(a) S22053热影响区



(b) S32205热影响区



(c) S32205焊缝区

图3 试样显微组织



图4 试样宏观形貌

在10倍显微镜下观察，未发现裂纹。试验后样品的宏观照片如图5所示。

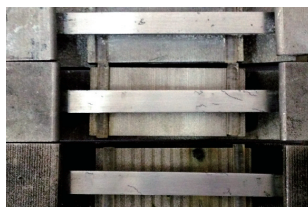


图5 抗氯化物应力腐蚀试验后试样宏观形貌

(6) 焊接接头的点蚀和均匀腐蚀试验 试样在模拟工况条件下，按ASTM G111—1997 (R2013) 标准进行点蚀和均匀腐蚀试验，经720h试验后，三个试样的平均腐蚀速率为0.0004mm/a。在10倍放大镜下观察，三个试样表面均未发现点蚀。试验后样品的宏观照片如图6所示。

#### 4. 工艺评定试验结果分析

从表2工艺评定试验结果可以看出，焊接接头的抗拉强度远高于母材标准的要求（≥620MPa），接头拉伸性能不存在问题。接头弯曲180°后受拉面完好，表明接头的延塑性良好。焊缝及热影响区在-40℃低温下的夏比冲击吸收能量满足标准



图6 均匀腐蚀试验后试样宏观形貌

要求。可见，拟定的焊接工艺能够保证焊接接头的力学性能。

CaCl<sub>2</sub>应力腐蚀检测以及点蚀和均匀腐蚀试验结果表明，焊接接头具有良好的耐氯离子局部腐蚀性能。晶间腐蚀试验结果表明，焊接接头具有良好的抗晶间腐蚀性能。

焊缝和热影响区均为铁素体和奥氏体双相组织，没有发现金属间析出相的产生。焊接热影响区的铁素体含量最高为46%，满足技术条件要求，可以保证塑韧性和耐蚀性。焊缝区的铁素体含量为40%，奥氏体相相对较多，对塑韧性和耐蚀性有利。

综上所述可看出，拟定的焊接工艺规程正确，焊接参数适当，评定结果满足相关标准要求，焊接接头性能优良。

#### 5. 结语

通过对2205材料的焊接性分析，制定了适当的焊接工艺，保证了焊接工艺评定试件的力学性能和耐腐蚀性能。在绝缘接头产品的生产过程中，根据工艺评定结果，制定了详细的工艺规程和工艺纪律，并在焊接施工过程中严格执行，保证了法兰-短管焊缝的焊接质量。目前该批产品已顺利交付用户。

#### 参考文献：

- [1] 李为卫，等.2205双相不锈钢的焊接性及焊接技术[J].热加工工艺，2006（3）：36-38.

作者简介：杨永良等，西安泵阀总厂有限公司。

MW 20160402