



钛-钢复合板海水换热器管箱的焊接工艺

白晓科 李绍林 都伟杰

【摘要】通过钛-钢复合板海水换热器管箱的焊接工艺,介绍了工业纯钛的焊接特性、接头设计、焊接工艺和质量检测等内容,并特别介绍了一种具有四层保护结构的大口径TIG焊枪。

关键词: 复合板; TIG焊; 焊接工艺

1. 概述

钛及钛合金具有优异的抗海水和液态介质腐蚀的能力。对于海洋工程,尤其是在盐水系统和其他恶劣环境中的应用,钛及钛合金极具吸引力。为节约钛的使用、降低制造成本,在海水换热器上使用了复层为TA2的钛-钢复合板材料。

2. 焊接特性

(1) 氧化与脆化 钛是一种活泼金属,常温下能与氧生成致密的氧化膜而保持高的稳定性和耐蚀性。540℃以上生成的氧化膜则不致密。高温下钛与氧、氮、氢反应速度较快,在空气中钛的氧化很容易发生。随着氧和氮增加,强度和硬度增加,塑性和韧性降低。随着氢增加,韧性急剧降低,而塑性下降较少。

(2) 铁污染 铁在钛中的溶解度非常低,一般只有 $w_{Ti}=0.1\%$,超过此限,会生成TiFe、TiFe₂金属间化合物,使焊缝严重脆化。故铁不能与钛直接熔化焊接,而是采用间接焊接方

法。

(3) 气孔 气孔是焊接钛时最常见的焊接缺陷。气孔的影响主要在于降低焊接接头疲劳强度,能使疲劳强度降低一半甚至3/4,因此应预防气孔的产生。

焊丝和坡口表面的清洁度是影响气孔的最主要因素,其主要来源有:①在焊丝拉拔时粘附在焊丝表面的润滑剂。②打磨时残留在坡口表面的磨粒。③清洗时橡胶手套溶解的增塑剂。④擦拭坡口时的残留物。⑤剪板时形成的粗糙端面,易受到粘污。

3. 接头设计

钛-钢复合板焊接结构主要采用对接接头和角接头形式。焊接接头中不允许出现钛和钢的相互熔合,因此在设计接头时应加以避免,海水换热器的管箱结构设计如图1所示。

4. 焊接工艺

(1) 焊接方法 由于钛的活性性强,熔焊时需要采用惰性气体或真空进行保护,故选用了钨极氩弧焊进行焊接。由于普通

的焊枪喷嘴直径约为12mm,传统上焊接钛及钛合金时,多使用拖罩以保证有惰性气体保护高温区域。然而其存在操作不灵活的缺点,特别是接头拐角位置,容易存在保护不良的情况。焊接选用了由美国PWI公司制造的特殊焊枪,这是一种有四层保护结构的大口径TIG焊枪,其实物和结构如图2所示,它具有良好的保护效果且可以防止气流紊乱。

(2) 焊前准备 为防止油污等污染物或气流造成气孔缺陷和接头脆化现象,应在焊前做以下准备:①搭建一个专门场所,以遮蔽周围的气流,保持洁净的施焊环境。②更换为新的环氧基或乙烯基塑料送气软管。由于橡胶软管会吸气,故不应采用。③准备干净的白棉布,蘸丙酮擦拭待焊表面和焊丝,以清理油脂等异物。④使用新的不锈钢丝

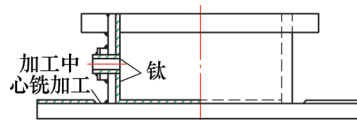
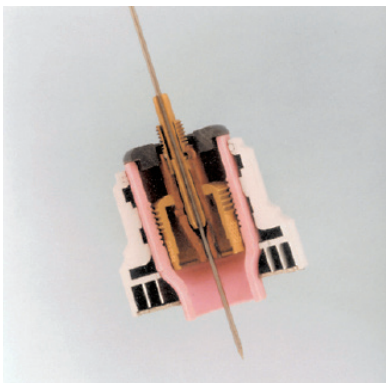


图1 钛-钢复合板管箱的结构设计



图2 具有四层保护结构的PWI焊枪



刷，打磨待焊工件表面。采用普通砂轮片会因砂粒嵌入而造成气孔。⑤使用新的不锈钢丝球，对焊丝进行打钝，以清除表面的氧化物。⑥准备高纯氩气，即氩气纯度 $\geq 99.999\%$ ，以保证保护效果。⑦焊工穿上干净工作服，戴上新的皮革或帆布手套。

(3) 焊接过程 焊接参数如表1所示，由于钛的活泼性，其在高温下极易氧化，所以如图3中B所示，在焊接过程中应保持焊丝处在保护气体中，否则焊丝端部在脱离保护气体后即被氧化。

焊接过程中的注意事项：①应时刻注意不要将钛与钢熔合在一起，否者会造成脆化。②任何有可能在焊接时 $\geq 400^\circ\text{C}$ 的部位，必须使用工装做好气体保护，如图4所示。

5. 质量检测

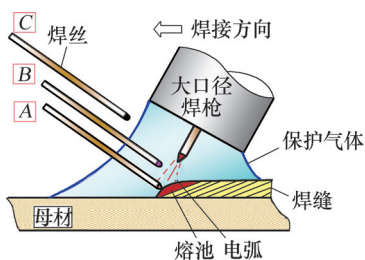


图3 焊接过程中的焊丝端部保护

(1) 质量控制 钛-钢复合板的焊接质量涉及到多个控制点，包括：接头设计、焊工技能、焊材管理、施工方法和无损检测等，只有控制好生产管理模式，才能保证钛材的焊接质量。

(2) 焊前检查 焊前检测钛-钢复合板的铣加工结果，确认

待焊接头内没有残余的钛材。可以使用硫酸铜溶液检测，如图5所示钢部位涂抹后变为棕红色。也可以使用硫酸铜溶液检测钛材表面是否有铁离子污染。

(3) 外观检查 焊缝成形应均匀、致密、平滑地向母材过渡，无裂纹、未熔合以及超出规定的咬边、气孔和弧坑等焊接缺陷。

(4) 颜色检查 因温度不同，钛表面的氧化因形成不同化合价的氧化钛，氧化膜的颜色也不同。因而可以用检测焊接接头表面颜色的方法来检测氩气保护效果（见表2）。此外，焊接接头表面的氧化越严重，表面硬度越高，可测定维氏硬度HV10，焊缝和HAZ的硬度值比母材的超

表1 工业纯钛的焊接参数

焊接方法	焊丝型号	焊丝直径/mm	焊接电流 / A	焊接速度 /cm·min ⁻¹	正面气体流量 /L·min ⁻¹	背面气体流量 /L·min ⁻¹
GTAW	ERTi-2	2.0	60~120	5~12	15~20	20~25

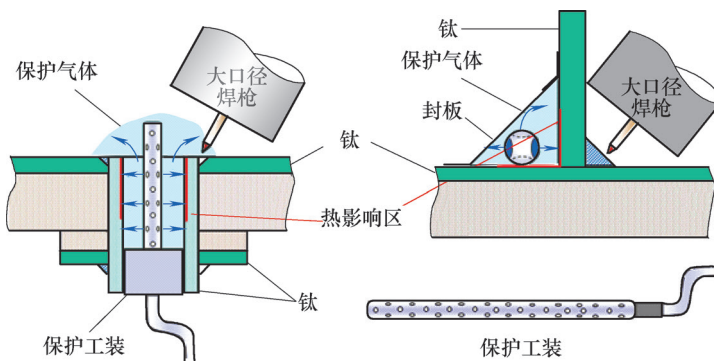


图4 焊接热影响区的气体保护

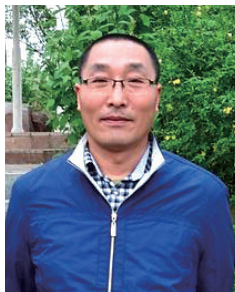
出量以不超过30HV10为良好。颜色变化照片如图6所示。

(5) 无损检测 焊后对所有钛复层焊缝按JB/T 4730.5规定进行渗透检测，确认焊缝质量为I级合格。

(6) 返修处理 当表面颜色超过规定时，虽然重熔可使焊缝



图5 使用硫酸铜溶液检测机加工状况



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

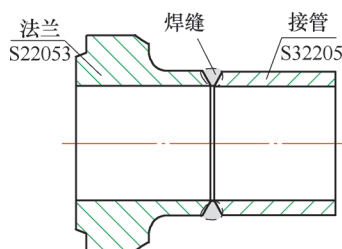


图1 绝缘接头法兰组件

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

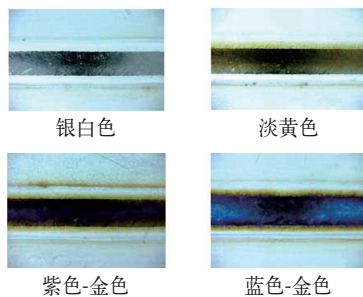


图6 钛焊接的颜色变化照片

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