

钛汽提塔焊接及质量控制

史超

上海外服江苏人力资源服务有限公司, 江苏 南京 210029

[摘要] 本文论述了钛制汽提塔的焊接及质量控制要点, 包括钛的焊接性, 焊接工艺评定及焊工考试, 原材料及部件的质量控制、焊接操作注意事项, 质量检验及检测等。珠海 PTA 项目中为 BP 业主制造的 CT-710 汽提塔按照 JB/T-4745《钛制焊接容器》设计制造, 全长 9200mm, 设计压力 0.35MPa, 设计温度 135℃, 介质为易燃有毒工况, 其主要受压元件材质为 SB-265 Gr. 2, 其焊接及制造过程中, 有颇多要点须予以特别关注。

[关键词] 钛; 焊接性; 钛汽提塔焊接; 质量控制

DOI: 10.33142/ec.v6i3.7970

中图分类号: TG4

文献标识码: A

Welding and Quality Control of Titanium Stripper

SHI Chao

Shanghai Foreign Service Jiangsu Human Resources Service Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210029, China

Abstract: This article discusses the welding and quality control points of titanium stripping towers, including the weldability of titanium, welding procedure qualification and welder examination, quality control of raw materials and components, welding operation precautions, quality inspection and testing, etc. The CT-710 stripper manufactured for BP owners in the Zhuhai PTA project is designed and manufactured in accordance with JB/T-4745 Titanium Welded Vessels. It has a total length of 9200 mm, a design pressure of 0.35 MPa, a design temperature of 135 °C, and a flammable and toxic medium. Its main pressure component material is SB-265 Gr.2. There are many key points that require special attention during its welding and manufacturing process.

Keywords: titanium; weldability; welding of titanium stripping tower; quality control

1 钛的焊接性

设备常用钛材料可以按照不同的生产成型方式将其划分为: 压力加工钛材、铸材以及粉末冶金钛等等。其中压力加工钛材是现阶段设备制造用钛量最多也是最为常见的一种类型。设备建造要求钛具备极其优越的耐腐蚀性能和焊接性能, 如果钛材中含有杂质过多会对焊缝的质量产生严重不利影响, 含氢量过多则会导致钛材出现氢脆现象, 出现脆化情况的钛不能在设备中使用, 否则会导致设备的质量严重下降, 并且产生腐蚀针孔。钛材中的氧气含量过高会产生气孔, 铁含量过高则会导致焊缝附近出现稳定的富铁相区, 与钛基形成腐蚀电池, 导致钛发生电化学腐蚀等等。因此, 在对设备使用钛进行选择时, 应该尽量选择钛材中杂质含量较低的工业纯钛或者低合金钛牌号。例如在设备中常用的 TA0、TA1、TA2、TA3、TA9、TA10 等等。上述几种型号的钛的耐腐蚀性能、可塑性以及韧性等等都比较高, 能够满足设备制造对钛材的需求, 多数会在化工设备的耐腐蚀材料上面得到良好应用。纯钛的抗拉强度不高, 但加入合金元素后使其比强度较钢、铝更高。

纯钛是呈银白色的有色金属, 比重小, 熔点高, 导热性差。钛化学性质活泼, 与氧有很强的亲和力, 室温下清洁表面也会迅速形成稳定而坚韧的氧化膜, 其良好的针对酸、碱、盐的耐腐蚀性能也由此而来。SB-265 Gr. 2 为非合金钛材, 供货状态为退火, 属于工业纯钛, 在 885℃ 以

下温度, 为密排六方晶格结构的 α 钛。

钛在固态下便能吸收气体, 加热至 300℃ 时吸收氢, 至 400℃ 时吸收氧, 至 600℃ 时吸收氮。吸入上述有害气体元素, 会导致钛材强度急剧升高而塑性显著下降。

钛的主要焊接性有如下四个方面:

1.1 易受气体等杂质污染而脆化

常温下钛比较稳定, 与氧形成的致密氧化膜具有高的稳定性, 但在 540℃ 以上形成的氧化膜则不致密, 容易被空气、水分、油脂等污染, 吸收氧、氮、氢、碳等, 降低焊接接头的塑性和韧性, 在熔化状态下尤为严重, 因此在焊接时对熔池及温度超过 400℃ 的热影响区 (包括熔池背面) 都要加以妥善保护。焊接工业纯钛时, 一般认为焊缝最高允许 $w(O)=0.15\%$, $w(N_2)=0.05\%$, $w(H_2)<0.015\%$, $w(C)<0.1\%$, 焊接钛合金时, 杂质的影响与焊接工业纯钛具有基本相同的规律, 对杂质的控制应小于母材标准的规定。

1.2 焊接接头晶粒易粗化

由于钛的熔点高、热容量大、导热性差, 焊缝及进缝区容易产生晶粒长大, 引起塑性及断裂韧性降低。因此, 焊接时对焊接热输入要严格控制, 一般宜用小电流、快速焊。

1.3 焊缝有形成气孔倾向

气孔是最为常见的缺陷, 通常可占钛合金焊接缺陷的 70% 以上。O₂、H₂、N₂、CO、H₂O 均可引起气孔, 但一般以氢气孔为主, 气孔多集中于熔合线附近, 有时也发生于焊

缝中心线附近。氢在钛中的溶解度随温度升高而降低，在凝固温度处有跃变。熔池中部比边缘温度高，故氢多向熔池边缘扩散富集。防止焊缝气孔的关键是杜绝有害气体的来源，防止焊接区被污染。气孔不仅是造成应力集中的因素，且气孔边缘的金属含氢量高、塑性低，结果使整个接头的塑性和疲劳寿命降低，甚至造成结构破坏和失效。随着焊接电流的增大，气孔还有增加的倾向。同等条件下，焊接速度增大，则气孔亦随之增加。

在制造过程中若是想有效避免产生气孔，就需要针对产生气孔的原因制定具体预防措施。

第一，需要在焊接区进行充分的氩气保护，确保氧、氢、氮等有可能对钛材焊接产生影响的气体不会接近焊接区域，充分避免气孔的产生。在此过程中需要重点关注增加氩气流量，如果突然用增大氩气压力的方法增加流动速度，那么将会导致空气中的气体紊乱，灰尘和其他不明气体趁乱进入焊接区域内对焊接质量造成不利影响，从而产生气孔。针对这一情况应该在确保气体稳定的情况下，以稳定且匀速的方法增大氩气流量，确保气流平稳。

第二，进行金属填充工作的过程中，需要注意不能应用表面过于粗糙的填充焊丝。在进行焊接之前应该运用酒精、丙酮等等对焊丝进行脱脂处理，确保填充金属的表面不会出现或残留油渍、灰尘等等。

第三，母材坡口两侧各 50mm 区域内用不锈钢丝刷去除氧化物、油渍、水分以及其他可能会对焊接质量造成不利影响的杂质。去除之后重复上述操作，用酒精、丙酮等进行较为充分的脱脂处理，并针对母材中的氧、氢、氮含量进行严控控制。

第四，正确选择焊接工艺参数，延长熔池的停留时间，便于气泡浮出。

第五，尽量缩短从焊前清理到焊接的时间。

第六，保持低地氩气露点，焊枪所连接的氩气管不使用橡皮软管而代之以尼龙软管。

1.4 易形成冷裂纹

由于钛中硫、磷、碳等杂质少，低熔点共晶难在晶界出现，而且结晶温度区窄和焊缝凝固时收缩量小等，所以很少会出现热裂纹，但是，钛焊接时易受氧、氢、氮等污染，当这些杂质含量较高时，焊缝和热影响区性能变脆，在焊接应力作用下容易产生冷裂纹，其中氢是产生冷裂纹的主要原因。氢从高温熔池向温度较低的热影响区扩散，当该区氢富集到一定程度时，会从固溶体中析出 TiH_2 ，随着 TiH_2 析出将产生较大的体积变化而引起较大的内应力。这些因素促使冷裂纹形成，且具有延迟性质。防止冷裂纹的措施主要是避免氢的作用并降低和消除焊接应力。

2 焊接工艺评定及焊工考试

采用钨极氩弧焊工艺，直流正接，焊丝使用 AWS A5.16 ERTi-2，焊接电流控制在 130~200A，电压控制在 11~20V，氩气纯度为 $\geq 99.999\%$ ，道间温度控制在 60℃ 以内，按照

JB/T-4745-2002 进行工艺评定的理化试验合格。经评定合格的焊接工艺规程提交 BP 业主的专家审核并批准。焊工按照考规进行技能评定，并获得 BP 业主的认可并备案。

3 原材料及部件的质量控制

3.1 焊接场地、设施要求

钛设备制作须在单独的洁净厂房中完成，进入洁净厂房须换干净的工作服、鞋套、手套等。厂房内须维持正压，且所有人员应单向出入。厂房内配备去湿机、铺设木地板，并严格监控铁离子污染情况。厂房内不得有碳钢材料的焊接、打磨作业。卷板机的上辊使用橡胶包膜，下辊使用塑料包膜，以免钛板在卷制过程中被污染。压制钛封头的模具应采用不锈钢皮包覆并事先清洁、做铁离子污染试验合格后方可使用。

3.2 原材料控制和储存

钛材验收合格后，立即清洗并在表面贴牛皮纸并单独隔离存放。材料与材料之间应采用木材隔离，材料不得直接置于地面上。禁止钛材和塑料、木材、铝、不锈钢以外的任何材料有接触，吊装钛材所用的吊钩，表面须堆焊不锈钢材料或用不锈钢材料包覆。钛材在下料、打磨时，表面须用铝板或不锈钢板进行保护。钛材表面一旦有轻微的损伤，须立即酸洗然后使用颗粒度不低于 120 目的专用的橡胶或尼龙掺杂氧化铝砂轮进行抛光后再做铁离子污染试验。

4 焊接操作注意事项

焊枪的喷嘴应较一般的焊枪大，以便使单位面积上氩气流出量增大，保护区域增加，可根据具体情况使用 $\varnothing 16 \sim \varnothing 25 \text{mm}$ 直径的喷嘴，喷嘴内使用气体透镜（用两到三层 100 目的铜丝网叠成），焊接时氩气经气体透镜流出，可获得具有一定挺度的气流层，保护区直径可达 30mm。氩气瓶的压力一旦低于 1MPa，应立即更换。应使用带尾拖罩的焊枪，拖罩须按照不同焊件的形状尺寸量身定做，内置筛网，焊接时焊缝两侧吹氩，使得熔池及周围温度在 400℃ 以上的母材区域均得到氩气的充分保护，焊缝背面也应进行氩气保护。拖罩和背面气保护垫板一般采用纯铜制造，铜垫板上开成形槽，槽内有通气孔，孔径 1.0mm，孔距 10mm，槽的深度 1.0mm，宽度 2~8mm。

焊接前，坡口部位及两侧 20mm 范围须抛光去除氧化皮，然后使用丙酮彻底清洗。焊丝在使用前应使用丙酮擦拭干净。焊工所戴手套须洁净，必要时应做脱脂处理。凡清理后的焊件和焊丝须在 4h 内焊完，否则应重新清理。

严格按照焊接工艺规程控制热输入，以防止晶粒粗化，最好是使温度刚好高于形成焊缝所需达到的最低温度，使用红外线测温仪测量道间温度，最好待上一焊道冷却至室温后再施焊下一焊道。使用具有陡降特性的直流弧焊电源、直流正接焊接，以获得较窄的焊道和较大的熔深。焊接电源应具有高频引弧装置而不采用直接接触法引弧，以免造成钨极对焊缝的污染。焊接电源亦应有熄弧控制，利用电流衰减的方法填满弧坑。利用氩气延时输送，可在切断焊接电流后焊枪继续提供氩气，以防空气污染热态的焊缝金

属及母材。焊丝应平稳而均匀地送进,已烧热的一端必须始终保持在气体喷嘴下面受到保护而不被污染。焊枪应尽量不做横向摆动,须摆动时,摆动幅度尽量小,频率尽量低,以防熔池脱离氩气保护。焊接完成后,严禁对焊缝及热影响区部位进行表面处理,比如使用不锈钢丝刷或抛光轮等抛光或打磨,以免破坏氧化膜。

5 制造要点

5.1 封头的压制

封头采用热压工艺,对模具表面的不锈钢覆膜和表面的清洁状况要仔细检查并做铁离子污染试验合格。封头坯料的加热宜采用电炉,天然气炉次之。低于 400℃进炉,加热至 600~650℃,按照 1.5~2min/mm 控制保温时间,然后出炉压制,终压温度 $\geq 300^{\circ}\text{C}$,空冷。然后酸洗,做铁离子污染试验。

5.2 筒体的卷制

筒体在卷制过程中,应随时检查上、下辊的表面包覆物是否有破损,如有破损,须立即停止作业,然后清洁钛材表面并重新包覆卷辊。卷制及较圆过程须缓慢操作,否则易在纵焊缝处出现明显的棱角度,以及在筒节两端呈现喇叭形的扩口,钛筒节一旦产生棱角度或扩口等,很难矫形,实际生产过程中,有因此而报废的筒节。

5.3 焊缝组对

因为钛的纵向弹性模量比不锈钢小(约为不锈钢的 50%左右),同样的焊接应力下,其变形量比不锈钢大 1 倍。焊缝在组对时,宜采用垫板和压板等将焊件压紧,并适当地增加定位焊道之长度,以减小焊接变形量。必要时可采用循环水冷夹具,实验表明,水冷夹具可使焊接区域在高温区域停留时间缩短,焊缝表面的色泽得以改善(即氧化程度减轻)。

5.4 表面保护

制造过程中,一定要注意防止损伤钛材表面,尤其是钢铁件对钛的损伤。钛的耐腐蚀性能,主要来自表面的致密氧化膜,须注意保护。打磨抛光所用的抛光轮,在使用前须做铁离子污染试验,合格后方可使用,且应定期更换。打磨抛光前,须清洁被打磨抛光区域。应避免在同一位置反复打磨和抛光,以防止局部过热。进入容器内部进行切割、打磨、焊接的人员应穿着洁净的工作服和鞋套,电线电缆等应无破损,严禁将铁制工具带入钛设备内。

5.5 临时工装的使用

临时工装的焊接,须采用与正式焊接同样的焊接工艺规程。临时工装材料应做好材料标记移植以便进行追溯。临时附件的去除严禁采用敲击法,可先进行切割,然后采用打磨方式,然后将临时焊点缓慢抛光至与母材平齐,并进行渗透检测。

5.6 开孔注意事项

封头及小直径筒节上的开孔应在洁净厂房外完成,从

外侧向内侧开孔;开孔过程中封头内外表面的牛皮纸保护膜应完整,开孔区域的牛皮纸应去除,开孔区域周边应采用薄铝板防护飞溅物;开孔后应立即使用适用的砂轮片打磨好坡口,转运进洁净厂房内准备进行组对;封头在开孔过程中,周边 10 米范围内不得有碳钢、不锈钢打磨作业;较大的筒节上开孔,在洁净厂房内完成,将开孔区域的牛皮纸保护膜去除,在开孔区域周边用薄铝板防护飞溅物,从内侧向外侧开孔,然后按照图纸要求打磨坡口。

6 质量检验及检测

焊接时,评价氩气保护效果的最直接方法是肉眼观察焊缝和热影响区表面的颜色,银白色为最佳,几乎不存在有害气体的污染;淡黄色、金黄色对力学性能影响不大;紫蓝色、深蓝色则表示已被有害气体污染。根据该项目 BP 业主要求,只接受银白色和淡黄色(或明黄色)的焊缝和热影响区,其余的必须重新返工。

焊缝外观检查合格后,根据设计要求,所有 A、B 类接头按照 JB/T-4730-2005 进行 100%射线检测,C、D 类接头进行 100%渗透检测。

水压试验所用水的氯离子含量应低于 25mg/l,水压试验后应立即将水排净吹干。

水压试验后应进行内外表面的酸洗钝化,所用酸洗液配方为 70%浓度的硝酸+48%浓度的氢氟酸+水,且硝酸所占体积比为 10%~20%,氢氟酸所占体积比为 1%~2%,然后做铁离子污染测试(使用蒸馏水、70%浓度的硝酸和铁氰化钾配制试剂),以未发现蓝点为合格。

7 结语

对于钛制设备的焊接及制造,应根据其材料本身的特点,重点进行以下几个方面的控制,以达到标准和业主要求:(1)场地和设备的清洁、材料的保护。(2)焊接时对热态区域的严格保护,以及控制焊接热输入。(3)应注意防止焊接变形。

【参考文献】

- [1] 刘玉先. 钛材氨汽提塔的特点及使用[J]. 大氮肥,1994,17(5):4.
 - [2] 洪志刚,高明亮,范雪艳. 钛衬里氨汽提塔常见问题及处理[J]. 石油和化工设备,2010(6):4.
 - [3] 赵涛子,卢嘉民. 钛材汽提塔使用过程中出现的问题及对策[J]. 大氮肥,2004,27(6):3.
 - [4] 杨东. 钛材汽提塔防腐蚀对策与超温分析[J]. 大氮肥,2001,24(2):3.
 - [5] 苏华,林安强. 氨汽提塔钛管产生裂纹的原因及修复[J]. 石油和化工设备,2000(3):25-27.
- 作者简介:史超(1976.11-),男,焊接工艺及设备专业,目前职称:机械工程系列高级工程师,学历:本科,目前就职于上海外服江苏人力资源服务有限公司。